ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO PILOTO DE UM SISTEMA SCADA NA SWEDWOOD PORTUGAL

Gilberto Gil Dias Veiga

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2011

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de especialização de Automação e Sistemas

Candidato: Gilberto Gil Dias Veiga, Nº 1030330, 1030330@isep.ipp.pt
Orientação científica: Doutor Manuel Silva, mss@isep.ipp.pt

Departamento de Engenharia Electrotécnica
Instituto Superior de Engenharia do Porto
22 de Novembro de 2011

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus pais, pelo incentivo fundamental ao longo destes anos de estudo.

Gostaria de fazer um agradecimento especial ao meu orientador, Doutor Manuel Silva, pela atenção e dedicação na orientação deste trabalho e principalmente pelo incentivo demonstrado.

E também em especial à minha esposa Marta Gomes pelo apoio incondicional e paciência demonstrada ao longo deste projecto.

A todos o meu sincero muito obrigado.

Resumo

A realização desta Tese/Dissertação tem como objectivo o estudo e implementação piloto de um Sistema de Supervisão e Aquisição de dados (SCADA) na Swedwood Portugal, na qual exerço as funções de Engenheiro de Processo nas linhas de montagem de mobiliário.

Foi efectuado um estudo das necessidades da empresa relativamente às melhorias dos processos das linhas de montagem, com o intuito de melhorar a montagem do semi-produto, a nível de qualidade das matérias-primas, operação e desempenho de equipamentos. Chegou-se à conclusão que existe uma grande necessidade de controlar a qualidade das matérias-primas utilizadas na construção do semi-produto em tempo real, de modo a que seja possível diminuir a complexidade na recolha atempada de amostras por parte dos elementos de operação e diminuir o atraso da entrega de resultados das amostras por parte do laboratório.

A colagem é um elemento crítico na montagem do semi-produto, devido às variações de viscosidade da cola, consequência das variações climatéricas a que foi sujeita, desde a saída do fornecedor até à sua utilização nas linhas de montagem.

Para tal concebeu-se uma solução para dar uma resposta mais rápida no controlo de qualidade da cola à base de acetato de polivinil (PVAC), ou seja, a implementação piloto de um sistema SCADA na sala de colas, de modo a que haja um controlo a nível de temperatura e humidade, controlo de viscosidade em tempo real e controlo do nível da cola na cuba, fazendo com que haja só uma supervisão por parte dos elementos de operação.

Optou-se por um conjunto de hardware e software da SIMATIC desenvolvido pela Siemens, para elaboração da programação e desenvolvimento da Interface Homem Máquina (HMI).

Palavras-Chave

SCADA, Cola PVAC, Controlo de viscosidade, Controlo de temperatura e humidade, Controlo de nível de cola na cuba, SIMATIC, HMI.

Abstract

The realization of this Thesis/Dissertation has the goal to study and implement a pilot Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) in Swedwood Portugal, in which I perform the functions of Process Engineer in the assembly lines of furniture.

It was realized a study of company needs for the processes improvements in the assembly lines, in order to improve the assembly of semi-product, raw material quality, operation and equipment performance. This study reached the conclusion that there is the need to control the quality of raw materials that are used in the assembly of semi-product in real time, so that it is possible to reduce the complexity in the timely collection of samples by the operating elements and decrease the delay in delivery of results of the samples by the laboratory.

The glue is a critical element in the assembly of semi-product, due to changes in viscosity, as a consequence of the variations in the weather conditions to which it was subjected, since the departure of the supplier until being ready to use on the assembly lines.

With this purpose, a solution was conceived to provide a faster response in the quality control of the glue, based on polyvinyl acetate (PVAC), ie, the pilot implementation of a SCADA system in the glue room, so that there is a control of temperature and humidity, real time viscosity control and level control of the glue in its container, making possible only one supervision by the operating elements.

We chose a set of SIMATIC hardware and software developed by Siemens, for the implementation of the programming and development of Human Machine Interface (HMI).

Keywords

SCADA, PVAC glue, Viscosity control, Temperature and humidity control, Level control of glue in container, SIMATIC, HMI.

Índice

Índice de Figuras

Índice de Tabelas

Acrónimos

API	*Application Programming Interface*
ASCII	*American Standard Code for Information Interchange*
AS-I	*Actuator Sensor Interface*
BOF	*Board on Frame*
CIP	*Common Industrial Protocol*
COM	*Component Object Model*
CPU	*Central Processing Unit*
DB	*Data Blocks*
DCS	*Distributed Control System*
DCOM	*Distributed Component Object Model*
DDC	*Digital Direct Control*
DNP	*Distributed Network Protocol*
DP	*Decentralized Peripheral*
ERP	*Enterprise Resource Planning*
EUA	Estados Unidos da América
FMS	*Field Message Specification*
FB	*Function Block*

FBD	*Function Block Diagram*
FC	*Function*
GE	*General Electric*
GPRS	*General Packet Radio Service*
HART	*Highway Addressable Remote Transducer*
HDLC	*High-Level Data Link Control*
HMI	*Human Machine Interface*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IED	*Intelligent Electronic Devices*
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	*International Organization for Standardization*
LAN	*Local Area Network*
LAD	*Ladder Logic*
LLI	*Lower Layer Interface*
MES	*Manufacturing Execution Systems*
MPI	*Multi Point Interface*
MPS	*Multi Purpose Storage*
OB	*Organization Block*
ODVA	*Open DeviceNet Vendors Association*
OSI	*Open Systems Interconnection*
OLE	*Object Linking and Embedding*

OPC	*OLE for Process Control*
OpenVMS	*Open Virtual Memory System*
PA	*Process Automation*
PC	*Personal Computer*
PG	*Programming Device*
PID	*Proportional Integral Derivative*
PPI	*Point to Point Interface*
PLC	*Programmable Logic Controller*
PVAC	*Polyvinyl Acetate*
RTOS	*Real-Time Operating System*
RTU	*Remote Terminal Units*
SCADA	*Supervisory Control and Data Acquisition*
STL	*Statement List*
TCP/IP	*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*
WAN	*Wide Area Network*

1. INTRODUÇÃO

Neste competitivo e complexo ambiente tecnológico em que vivemos, os computadores assumem um papel importante no tratamento, distribuição e controlo da informação, permitindo um acesso rápido e fácil a esta informação e possibilitando ainda a execução de outras funcionalidades mais complexas.

Neste contexto, a evolução das redes de automação, os seus processos e arquitecturas são influenciados por essa nova realidade computacional. Factores relacionados com a disponibilidade e a segurança da informação assumem uma grande relevância, tornando-se necessário garantir que esta informação esteja disponível e segura, independentemente da sua localização geográfica dentro da rede. Mostra-se necessário implementar mecanismos de acessibilidade, de segurança e de tolerância às falhas, capazes de garantir o acesso seguro e rápido a essa informação onde quer que ela esteja.

As redes de supervisão e controlo revelam-se de grande importância nos sistemas de automação, facto pelo qual deixaram de ser aplicadas como meras ferramentas operacionais e passaram a ser vistas como uma importante ferramenta para o controlo e segurança de todo um processo produtivo.

Os sistemas SCADA são sistemas que realizam funções de supervisão e controlo de processos locais ou remotos em tempo real. Esses sistemas, em geral bastante complexos, são constituídos por computadores e dispositivos utilizados para a aquisição de dados e para actuar sobre os processos, sendo todos os equipamentos interligados através de uma rede de comunicação [1, 6].

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A realização desta Tese de Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Área de especialização em Automação e Sistemas foi elaborada no âmbito de um estudo e implementação piloto de um sistema SCADA na Swedwood Portugal.

O Grupo Swedwood é a unidade industrial da IKEA, e tem como principal tarefa assegurar a capacidade de produção de mobiliário para a IKEA.

A Swedwood tem como responsabilidade servir de modelo a outros fornecedores em todos os aspectos e campos; isso inclui o desempenho, melhorias, gestão de recursos e sustentabilidade. Ao mesmo tempo, ambiciona tornar-se competitiva e tecnologicamente evolutiva dentro deste sector industrial.

A Swedwood foi criada em 1991 com sede em Ängelholm, na Suécia. É dividida em sectores de negócios, com foco em conceitos operacionais específicos e de produção. Tem mais de 40 unidades produtivas e administrativas implantadas na Suécia, Rússia, Letónia, Lituânia, Polónia, Alemanha, Eslováquia, Hungria, Ucrânia, Portugal, China e EUA.

A Swedwood Portugal iniciou a sua construção em 2007 em Paços de Ferreira, iniciando a sua actividade em 2008. A primeira unidade operacional *Board on Frame* (BOF) produz móveis da gama LACK e EXPEDIT. A segunda fábrica produz portas de cozinha, principalmente as gamas BIRKELAND e LIDINGÖ. A terceira unidade operacional *Multi Purpose Storage* (MPS) produz móveis da gama BESTÅ. Cerca de 90 por cento da produção é exportada para as lojas IKEA, nomeadamente de Espanha, França e Ilhas Britânicas. Os restantes dez por cento são distribuídos pelas lojas IKEA de Portugal.

Na Figura 1 pode-se visualizar a unidade operacional da Swedwood Portugal em Paços de Ferreira.

Figura 1 **Unidade operacional da Swedwood Portugal em Paços de Ferreira**

Para que a Swedwood Portugal consiga cumprir todos os objectivos a que se propõe anualmente ao seu cliente, é extremamente importante que o departamento de Engenharia faça acompanhamentos diários e estudos às necessidades das linhas de montagem, de modo a poder melhorar continuamente os processos de montagem do semi-produto.

O acompanhamento diário de problemas de qualidade existentes nas linhas de montagem é de extrema importância, para que seja possível reagir rapidamente na correcção dos mesmos. Desta forma, é muito importante o controlo de qualidade de matérias-primas, operação e desempenho de equipamentos.

Após a realização de vários estudos, chegou-se à conclusão que existe uma grande necessidade de controlar a qualidade das matérias-primas utilizadas na construção do semi-produto em tempo real, de modo a que seja possível diminuir a complexidade na recolha atempada de amostras por parte dos elementos de operação e diminuir o atraso da entrega de resultados das amostras por parte do laboratório.

A cola é um elemento crítico na montagem do semi-produto, devido às suas variações de viscosidade, consequentes das variações climáticas a que foi sujeita, desde a saída do fornecedor até à sua utilização nas linhas de montagem (Saída fornecedor – Transporte – Armazenamento sala de colas – Utilização em linhas de montagem).

Para fazer o controlo da viscosidade da cola PVAC, os elementos de operação têm que fazer recolhas diárias de amostras, de modo a que possam controlar a viscosidade desta.

Após a entrega dos dados por parte do laboratório, os elementos de operação têm que comparar os dados recepcionados com os dados definidos no processo. Desta forma, os elementos de operação têm que activar ou desactivar o motor misturador durante um determinado intervalo de tempo, de modo a que se consiga manter os valores de viscosidade dentro do ideal.

Para tal concebeu-se uma solução para dar uma resposta mais rápida no controlo de qualidade da viscosidade da cola PVAC, ou seja, a implementação piloto de um sistema SCADA na sala de colas, de modo a que haja um controlo de viscosidade em tempo real, controlo a nível de temperatura e humidade e controlo do nível da cola na cuba, fazendo com que haja só uma supervisão por parte dos elementos de operação no seu posto de trabalho através de um monitor informativo.

Inicialmente a implementação piloto de um sistema SCADA na sala de colas foi aprovada por parte da administração da Swedwood Portugal. Posteriormente o projecto foi cancelado, e a implementação física do sistema SCADA não foi possível de ser realizada, uma vez que, a actual sala de colas será substituída por uma nova sala de colas controlada e interligada a um sistema SCADA geral da fábrica comprado pela Swedwood Internacional, com intuito de uniformizar todos os sistemas SCADA existentes em todas as unidades industriais de Swedwood de todo mundo. O facto de este projecto ter sido cancelado, não impediu de ser desenvolvido e testado em simuladores para apresentação desta Tese/Dissertação.

1.2. OBJECTIVOS

O principal objectivo desta Tese/Dissertação é o estudo e implementação piloto de um Sistema SCADA na Swedwood Portugal, de modo a que os elementos de operação consigam supervisionar:

- A viscosidade da cola PVAC em tempo real;
- Temperatura e humidade relativa da sala de colas;
- O nível de cola PVAC na cuba;
- Alarmes do sistema.

Para este efeito, foi desenvolvido um conjunto de interfaces amigáveis ao utilizador, de modo a que se possa supervisionar a sala de colas e, ao mesmo tempo controlar as variáveis de processo envolventes na estabilização da cola PVAC a aplicar nas linhas de montagem.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

Este trabalho teve uma duração aproximada de dois anos e foi dividido em várias etapas. Na Tabela 1 pode-se visualizar a calendarização do trabalho realizado.

Tabela 1 Calendarização do trabalho

ID	Etapas	Inicio	Fim	Duração (meses)	2009			2010												2011								
					Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
1	Introdução do trabalho	01-10-2009	31-10-2009	1	■																							
2	Sistemas Scada	01-11-2009	28-02-2010	4		■	■	■	■																			
3	Hardware/Software de sistemas Scada	01-03-2010	31-05-2010	3						■	■	■																
4	Sistemas de comunicação Scada	01-06-2010	31-08-2010	3									■	■	■													
5	Monitorização e controlo	01-09-2010	30-11-2010	2												■		■										
6	Desenvolvimento do trabalho	01-11-2009	31-05-2011	11		■	■						■			■		■	■	■	■	■	■	■				
7	Redacção da tese	01-06-2011	31-07-2011	2																					■	■		
8	Verificação do funcionamento do trabalho desenvolvido	01-06-2011	31-08-2011	3																					■	■	■	
9	Correcções finais da tese	01-09-2011	31-09-2011	1																								■

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório está organizado da seguinte forma:

No Capítulo 1 é feita uma introdução ao trabalho a realizar na Swedwood Portugal, onde são apresentados os objectivos a alcançar e as etapas que o constituem.

No Capítulo seguinte, 2, é apresentada a história e a evolução dos Sistemas SCADA.

Seguidamente, no Capítulo 3, são descritos os sistemas de comunicação SCADA, onde são apresentadas as estruturas de comunicação associadas aos diversos níveis hierárquicos.

No Capítulo 4, são apresentadas as tecnologias utilizadas, sendo descrito o hardware de aquisição e o software de monitorização e controlo utilizado no trabalho desenvolvido.

No Capítulo seguinte, 5, é apresentado o trabalho desenvolvido, sendo descrito o processo de supervisão e controlo automático do sistema de armazenamento de cola PVAC, as variáveis do sistema desenvolvido, o fluxograma e o Grafcet do modo automático do sistema, assim como a programação efectuada para o funcionamento automático através de Grafcets.

Por último, no Capítulo 6, são reunidas as principais conclusões e perspectivas de desenvolvimentos futuros desta Tese/Dissertação.

2. SISTEMAS SCADA

Um sistema de automação tem como objectivos básicos o desempenho, a modularidade e a expansibilidade da instalação industrial. Para que estes sejam alcançados, deve-se estruturar a instalação industrial e organizar os seus elementos constituintes (unidades de aquisição de dados, Controladores Lógicos Programáveis (PLC), sistemas de supervisão existentes, entre muitos outros). Para tanto, é necessário elaborar uma arquitectura capaz de suportar as duas hierarquias de rede mais utilizadas: informação e controlo. A primeira é o nível mais alto dentro da arquitectura, sendo representada pela rede de informação. Já as redes de controlo interligam os sistemas industriais aos sistemas representados pelos controladores e pelas unidades de aquisição de dados.

Um sistema de supervisão permite que sejam monitoradas e recolhidas informações de um processo produtivo ou de instalações físicas. As informações são recolhidas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e, posteriormente, apresentadas ao utilizador. Estes sistemas também são conhecidos como SCADA [3].

2.1. HISTÓRIA

Na história, o processo de automação industrial começa na década de 1910 com Henry Ford e a sua linha de montagem de automóveis. Posteriormente, nos anos 1950 assistiu-se

ao desenvolvimento da microelectrónica, que possibilitou o desenvolvimento dos PLCs. Na década de 90 encontramos os novos sistemas de supervisão e controlo, desenvolvidos especialmente com o objectivo de obter maior produtividade, qualidade e competitividade para esta nova realidade. Os sistemas de supervisão e controlo de dados desta época eram baseados em *mainframes*, com arquitecturas fechadas, dependentes dos fabricantes e isolados. No início apenas permitiam informar periodicamente sobre o estado do processo industrial. A monitoração era conseguida através de painéis com lâmpadas e indicadores que representavam sinais de medidas e estados dos dispositivos, sem qualquer interface gráfica com o utilizador. Na Figura 2 pode-se visualizar uma central de controlo utilizada nessa época.

Figura 2 **Exemplo de uma central de controlo**

Com as sucessivas evoluções acumuladas ao longo do tempo, os sistemas de supervisão actuais passaram a oferecer três funções básicas, nomeadamente supervisão, operação e controlo:

- <u>Função de supervisão</u> – Nesta função estão incluídas todas as operações de monitoração do processo, sejam elas, através de informações, gráficos de tendências, relatórios, entre outras;
- <u>Função de operação</u> – Oferece a vantagem de substituir as funções das mesas de controlo manuais, optimizando os procedimentos de controlo e os modos de operação dos equipamentos do processo;
- <u>Função de controlo</u> – Apresenta duas possibilidades: um sistema que possibilita a acção de controlo sem a dependência de níveis intermédios do processo, conhecido como *Digital Direct Control* (DDC) e o sistema de supervisão, onde o controlo é realizado dinamicamente, de acordo com o comportamento global do processo [3].

2.2. FUNCIONALIDADES

Um sistema de supervisão deve apresentar algumas funcionalidades básicas, entre as quais se destacam:

- Aquisição de dados – É o processo que envolve a recolha e transmissão de dados desde a instalação industrial (estações remotas) até às estações centrais de controlo. As estações remotas lêem os valores dos dispositivos a elas conectadas. Após a leitura desses valores, segue-se a transmissão de dados em que, quer em modo de comunicação por *polling*, ou em modo de comunicação por interrupção (*Report by Exception*), os dados são transmitidos através da rede de comunicações até à estação central. O processo é concluído com o armazenamento da informação na base de dados;
- Visualização de dados – Consiste na apresentação das informações através de sistemas HMI, geralmente acompanhadas por animações, de modo a simular a evolução do estado dos dispositivos controlados na instalação industrial;
- Processamentos de alarmes – Os alarmes são classificados por níveis de prioridade em função da sua gravidade, sendo reservada a maior prioridade para os alarmes relacionados com questões de segurança. Em situações de falha do servidor, ou da rede de comunicações, é possível efectuar o armazenamento das mensagens de alarme em *buffer*, o que aliado à capacidade de transmissão de mensagens de alarme para vários servidores, permite atingir um maior grau de tolerância a falhas. O processamento de alarmes assume um papel de elevada importância na medida em que permite informar anomalias verificadas, sugerir medidas e, em determinadas situações, reagir automaticamente mediante parâmetros previamente estabelecidos. Para além das situações de alarme detectadas com base nos valores lidos pelos dispositivos, os sistemas de supervisão podem accionar alarmes com base na ocorrência de determinadas combinações de eventos;
- Tolerância a falhas – Para atingir níveis aceitáveis de tolerância a falhas é normal a existência de informação redundante na rede e de máquinas de *backup* situadas dentro e fora das instalações das indústrias de forma a permitir que sempre que se verifique uma falha num computador o controlo das operações seja transferido automaticamente para outro computador, o qual possui todos os dados do computador que estava a funcionar, para que não se tenha uma interrupção significativa [3].

2.3. EVOLUÇÃO

Actualmente os sistemas SCADA estão a evoluir para sistemas abertos e com uma arquitectura fortemente centrada em conectividade. É cada vez mais frequente, nesta nova filosofia, a interligação das redes SCADA com as intranets corporativas e, em consequência, com a própria Internet. Essa integração de redes, com características e propósitos distintos, tem como objectivo aumentar a eficiência, a competitividade e a produtividade das empresas [1].

Assim, nos dias correntes, as aplicações informáticas de supervisão, para além de informar, utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e o controlo dos processos industriais. Estes sistemas de software são então responsáveis pela recolha de dados em ambientes complexos, eventualmente dispersos geograficamente, pela sua interpretação e respectiva apresentação de modo amigável para o utilizador, com recurso a sistemas HMI. Os sistemas SCADA melhoram a eficiência do processo de supervisão e controlo, disponibilizando em tempo útil o estado actual do sistema, através de um conjunto de previsões, gráficos e relatórios, de modo a permitir a tomada de decisões operacionais apropriadas, quer automaticamente, quer por iniciativa do operador. Desta forma, estes sistemas deixaram de ser vistos como meras ferramentas operacionais, ou de engenharia, e passaram a ser considerados como uma importante fonte de informação de crucial importância na estrutura de gestão das empresas. Na Figura 3 podem-se visualizar dois exemplos de sistemas HMI [2].
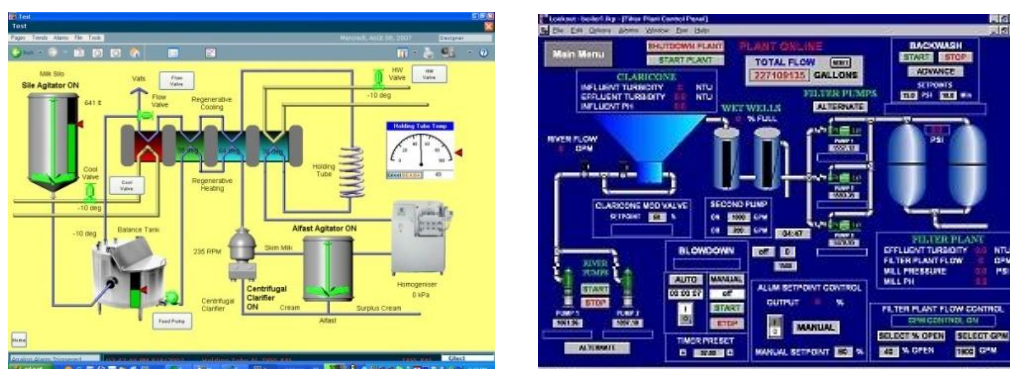
Figura 3 **Exemplos de HMI**

Hoje já é possível a implementação de sistemas de supervisão em todos os segmentos do mercado, tais como: sistemas de gestão da água, electricidade, tráfego, controlo ambiental,

produção, edifícios inteligentes, indústria alimentar, indústria química, petroquímica e de cimento, entre outros segmentos.

2.4. HARDWARE EM SISTEMAS SCADA

Um sistema SCADA possui como seus componentes integrantes: sensores e actuadores; estações remotas para aquisição e controlo; infra-estruturas de comunicação e, por último, estações centrais de controlo.

2.4.1. SENSORES E ACTUADORES

Para que um sistema SCADA possa efectuar medições ou a detecção do estado de determinadas variáveis dentro de um processo é necessário que sejam instalados dispositivos, ou seja sensores, que convertam grandezas físicas, tais como velocidade, níveis de líquidos ou temperatura, em grandezas eléctricas, tais como sinais analógicos ou digitais, que são enviados para as estações remotas.

Existem diversos tipos de sensores analógicos e digitais utilizados na automação industrial, de entre os quais se referem os seguintes:

- Sensores de fim-de-curso ou de limite;
- Sensores indutivos;
- Sensores capacitivos;
- Sensores ópticos;
- Sensores ultra-sónicos.

No Anexo A apresentam-se em detalhe os vários tipos de sensores referidos neste ponto.

Já os actuadores são utilizados para actuar sobre o sistema de modo a ligar e a desligar determinados equipamentos. O actuador é um elemento capaz de modificar grandezas físicas no sistema ao qual pertence (geralmente produzindo movimento) atendendo a comandos que podem ser manuais ou automáticos.

Os actuadores costumam-se classificar nos três tipos seguintes:

- Actuadores pneumáticos – Os sistemas pneumáticos constituem soluções económicas, robustas e compactas. Por estes motivos, a sua utilização encontra-se amplamente disseminada na indústria, em tarefas de manipulação e montagem. No entanto, a

dificuldade no controlo do movimento de actuadores pneumáticos limita o campo de aplicação deste tipo de accionamento.

- Actuadores hidráulicos – São responsáveis pela conversão de energia hidráulica em energia mecânica. São utilizados principalmente em sistemas onde são requeridas elevadas forças ou binários, sobretudo no accionamento de máquinas de grande porte. Os sistemas hidráulicos utilizam o óleo como meio de transmissão de energia. Os actuadores hidráulicos estão disponíveis sob várias formas de modo a desempenhar uma determinada função específica.
- Actuadores eléctricos – Este tipo de actuador, de uma forma geral é, o mais empregue em aplicações industriais. As facilidades de instalação, os baixos custos de instalação e o desenvolvimento de circuitos electrónicos para o seu controlo e accionamento, fizeram deste tipo de actuador o mais popular, não apenas para uso industrial mas também para uso geral. Estes tipos de actuadores são aplicados em bombas, válvulas de controlo, eixos de máquinas de ferramentas, articulações de robôs, entre outras aplicações [20].

2.4.2. ESTAÇÕES REMOTAS PARA AQUISIÇÃO E CONTROLO

A aquisição de dados envolve a transmissão dos dados recolhidos pelos diversos sensores, até às estações centrais de controlo.

O processo de controlo local e aquisição de dados inicia-se nas estações remotas. Os PLCs e as Unidades Terminais Remotas (RTUs) fazem a leitura dos valores apresentados pelos dispositivos que estão associados a cada estação.

Os PLCs e RTUs são unidades computacionais específicas, ou seja equipados com processadores, através dos quais a estação central de controlo comunica com os dispositivos existentes nos diversos sectores do edifício ou instalações fabris. O processo de aquisição de dados é concluído com o respectivo armazenamento numa base de dados no sistema de controlo central.

A diferença entre os PLCs e as RTUs está em que os primeiros possuem maior flexibilidade na linguagem de programação e controlo de entradas e saídas, enquanto as RTUs possuem uma arquitectura mais distribuída entre a sua unidade de processamento central e os módulos de entradas e saídas, com maior precisão e sequência de eventos. As RTUs possuem uma boa capacidade de comunicação, uma vez que são as mais indicadas

para situações onde a comunicação por uma rede de cablagem convencional é bastante difícil, ou seja, utilizam redes de comunicação sem fios (*wireless*).

A troca de informações entre os PLCs/RTUs e o sistema SCADA ocorre através de uma rede de comunicação. Para a implementação da rede de comunicação deve ser feito um estudo prévio, considerando os requisitos do sistema e a distância a cobrir. Esta rede pode ser implementada através de fibras ópticas, cabos *Ethernet*, linhas dedicadas, equipamentos *wireless*, entre outras [2, 3].

Nos pontos seguintes serão abordados, dum modo geral, os dispositivos para aquisição de dados nas estações remotas.

2.4.2.1. UNIDADE TERMINAL REMOTA (RTU)

A RTU liga-se ao equipamento físico remoto (máquina ou componente), faz a leitura de dados de estados (tais como o estado aberto/fechado de um interruptor ou válvula) e efectua a medição de valores (tais como a pressão, fluxo, tensão ou corrente). Através do envio de sinais digitais para os equipamentos da RTU é possível controlar o equipamento através de operações tais como abrir ou fechar válvulas ou adoptar um novo valor para uma tensão. As RTU podem medir dados em formato analógico ou digital e enviar comandos ou medidas digitais.

Uma implementação importante na maioria dos sistemas SCADA são os alarmes. Um alarme é um estado digital que pode ter o valor NORMAL (aviso) ou ALARME. Os alarmes podem ser criados de tal maneira que são activados quando se verificarem determinadas condições. Um exemplo de um alarme é a luz de indicação de depósito de combustível vazio num automóvel. A atenção de um operador de SCADA é atraída para a parte do sistema que activou o alarme. É possível configurar um sistema SCADA para o envio de emails e mensagens escritas para telemóvel para o operador e/ou administrador do sistema de forma a alertá-lo para a ocorrência de um alarme e do mau funcionamento do equipamento ou sistema.

2.4.2.1.1. FUNCIONAMENTO DO HARDWARE NA RTU

A RTU é um pequeno computador robusto constituído por:

- CPU e memória volátil;
- Memória não volátil para armazenamento de programas e dados;

- Capacidade de comunicação através de uma porta série ou através de uma placa modem;
- Baterias de reserva;
- *Watchdog timer* (para garantir o reinício da RTU em caso de falha);
- Protecção eléctrica contra picos de tensão e/ou corrente;
- Interfaces I/O analógicas e digitais;
- *Real time clock.*

Na Figura 4 é possível visualizar um diagrama de blocos de uma RTU.
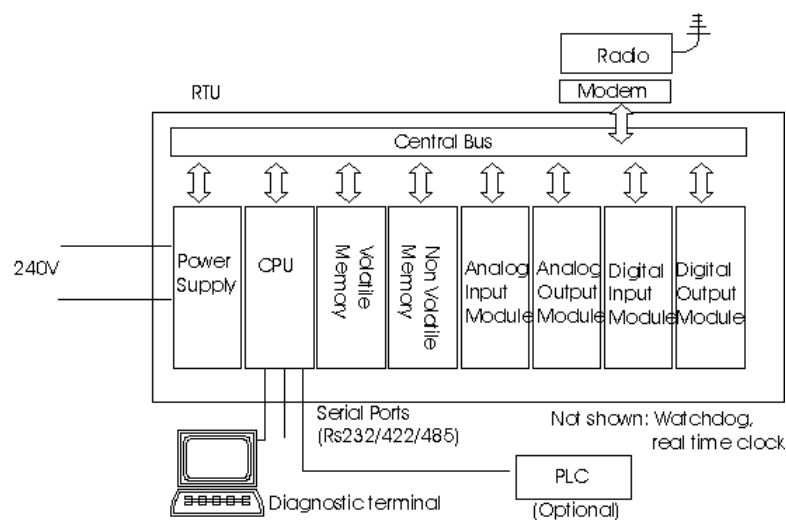
Figura 4 **Diagrama de blocos de uma RTU**

2.4.2.1.2. FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE NA RTU

Todas as RTUs exigem as seguintes funcionalidades abaixo descritas. Em muitas RTUs essas funcionalidades podem ser misturadas e não são necessariamente identificáveis como módulos separados. As funcionalidades são:

- Sistema operativo em tempo real (RTOS);
- *Driver* para sistemas de comunicação de modo a estabelecer ligações com as estações centrais;
- *Device drivers* para sistemas de entrada/saída em dispositivos de campo;
- Aplicações SCADA, por exemplo, supervisão das entradas, processamento e armazenamento de dados, de modo a responder aos pedidos das estações centrais através da rede de comunicações;

- Existem métodos que permitem configurar aplicações do utilizador na RTU. Estas configurações de parâmetros podem ser um simples activar ou desactivar entradas/saídas específicas;
- Diagnósticos.

2.4.2.1.3. NORMAS

Existe uma falta de normas, especialmente na área das comunicações, uma vez que não é possível misturar diversas RTUs de diferentes fornecedores. Recentemente começaram a surgir algumas normas para estes dispositivos, de entre as quais se destacam as seguintes:

- DNPs e IEC870 para comunicações;
- IEC1131-3 para programação de RTUs.

2.4.2.2. *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* (PLC)

Um PLC é um aparelho electrónico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como: lógicas, sequenciais, temporização, contagem e aritméticas. Pode ser visto como um computador especializado, baseado num microprocessador, que desempenha funções de controlo de diversos tipos e níveis de complexidade. Geralmente as famílias de PLC são definidas pela capacidade de processamento de um determinado número de pontos de entradas e/ou saídas (E/S). O PLC permite controlar, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

Os PLC estão muito difundidos nas áreas de controlo de processos e de automação industrial. No primeiro caso a aplicação dá-se nas indústrias do tipo contínuo, por exemplo nas indústrias alimentar, química, petroquímica e de cimento, entre outras indústrias; no outro caso a sua aplicação dá-se nas áreas relacionadas com a produção em linhas de montagem, por exemplo na indústria automóvel.

Num sistema típico, toda a informação dos sensores é concentrada no controlador que, de acordo com o programa em memória, define o estado dos pontos de saída conectados aos actuadores.

2.4.2.2.1. DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM PLC

Todos os PLC possuem interfaces de entrada e saída de dados, memória, uma fonte de alimentação, e alguma forma expedita de construir a aplicação de software. Na Figura 5 é possível visualizar um diagrama de blocos de um PLC comum.
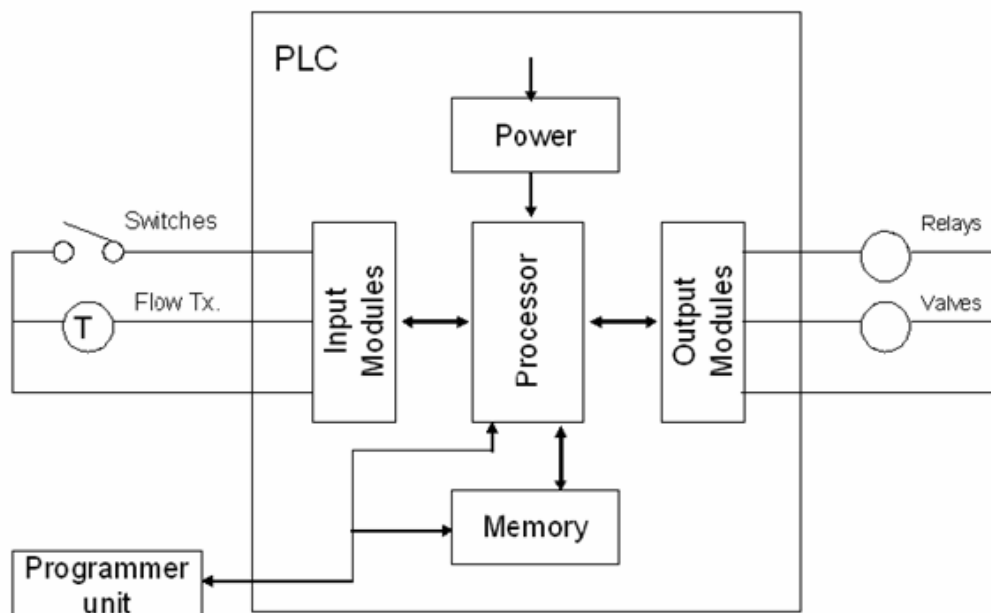
Figura 5 **Diagrama de blocos de um PLC**

2.4.2.2.2. MÓDULOS DE ENTRADA E SAÍDA

A interface de entrada fornece uma ligação ao processo a ser controlado. A função principal deste módulo é receber e converter os sinais recebidos do processo num formato que possa ser usado pelo processador (CPU). Esta tarefa consiste em converter sinais de diferentes tipos (corrente, tensão) e diferentes amplitudes num formato discreto único. Este módulo é expansível, podendo ser adicionados mais módulos para aumentar o número de entradas à medida das necessidades do processo. O número de entradas suportadas está limitado pelo CPU e pela quantidade de memória disponível.

A interface de saída executa a tarefa contrária da interface de entrada. Este módulo recebe sinais do CPU, transformando-os num formato apropriado para executar as acções de controlo sobre o processo. Também aqui há a registar a característica modular do PLC que permite que o número de saídas possa ser expandido, encontrando-se, no entanto, limitado pelas mesmas razões do módulo de entrada.

2.4.2.2.3. PROCESSADOR (CPU)

O CPU e as memórias fornecem a "inteligência" central do PLC. A informação fundamental é armazenada na memória, formando conjuntos de bits, designados por palavras (*words*). Cada palavra armazenada na memória é um conjunto de dados, uma instrução, ou parte de uma instrução.

Os dados vêm do módulo de entrada e, baseando-se no programa armazenado, o CPU executa decisões lógicas actuando as saídas. O CPU procura continuamente no programa armazenado a acção a executar.

2.4.2.2.4. MEMÓRIA FLASH

A memória *flash* ("*Flash Memory*") é a memória não volátil onde reside o sistema operativo do PLC. O seu conteúdo não requer qualquer tipo de componente, ou alimentação externa.

A memória também é utilizada para armazenar informação temporária e necessária apenas durante a execução de algumas instruções.

O sistema operativo que reside na memória *flash* é, na realidade, formado por um conjunto de programas supervisores que fornecem ao PLC identidade própria.

As tarefas executadas normalmente pelo sistema operativo são as seguintes:

- Definem a linguagem em que a aplicação é escrita;
- Definem a área de memória para fins específicos;
- Determinam a estrutura na qual o PLC armazena e trata toda a informação.

Na Figura 6 é possível visualizar um exemplo de módulos controladores PLC.

Figura 6 **Módulos controladores PLC**

Os PLC têm capacidade de comunicação de dados através de comunicações em série. Com isto podem ser supervisionados por computadores, formando sistemas de controlo integrados, em que aplicações de supervisão controlam redes de PLC.

Os canais de comunicação nos PLC permitem conectar à interface de operação computadores, outros PLC e, até mesmo, unidades de entradas e saídas remotas. Cada fabricante estabelece um protocolo para fazer com que os seus equipamentos troquem informações entre si. Os protocolos mais comuns são o Modbus, Profibus e DeviceNet, entre muitos outros. Redes de campo abertas, como o PROFIBUS-DP, são também muito usadas com PLC permitindo aplicações complexas na indústria [4-6].

2.4.3. INFRAESTRUTURAS DE COMUNICAÇÃO

Os sistemas SCADA utilizam normalmente combinações de ligações via rádio e conexões via modem para estabelecerem a comunicação com os elementos remotos a controlar. Actualmente, a Internet é também frequentemente utilizada em grandes domínios tais como nas empresas ferroviárias e centros de produção de energia. Esta distinção de métodos de comunicação também vem ao encontro de alguns requisitos dos clientes que desejam utilizar a infra-estrutura já instalada no seu ambiente corporativo e/ou partilhar a rede com outras aplicações.

Dada a panóplia de equipamentos passíveis de monitoração, os protocolos antigos de banda estreita continuam a ser implementados em sistemas SCADA modernos. Estes sistemas são projectados para serem muito compactos e alguns são projectados para que os dados apenas sejam enviados das RTUs/PLCs para a estação central a pedido desta. Este método, embora leve a um menor fluxo de informação, descongestiona o canal de comunicação, o que em algumas redes é vital. Alguns destes protocolos antigos ainda suportados incluem o Modbus, RP-570 e Conitel, que são protocolos de comunicação específicos de diferentes fornecedores de SCADA. Os protocolos padronizados são o IEC 680870-5-101 ou 104, IEC 61850, Profibus e DNP3. Muitos destes protocolos contêm já extensões que lhes permitem operar sobre redes TCP/IP, embora seja boa prática de segurança de engenharia evitar ligar estes sistemas directamente à Internet, para diminuir o risco de ataques ao sistema.

Dado que um grande número de vendedores continua a criar o seu próprio protocolo de comunicação (protocolo proprietário) com o intuito de fidelizar a sua base de clientes, as

RTUs/PLCs e outros componentes de controlo estão actualmente a ser desenvolvidos de forma a garantir a inter-operacionalidade entre normas da indústria. Módulos como o Modbus TCP/IP estão a ter grande aceitação no mercado e são já uma referência para muitos fabricantes de sistemas SCADA [2, 3].

2.4.4. Estações centrais de controlo

Em pequenos sistemas SCADA, a estação central pode incluir vários servidores, aplicações de software distribuídas e aplicações de recuperação de dados após mau funcionamento.

Normalmente os sistemas SCADA apresentam a informação para o pessoal operacional através de elementos gráficos sob a forma de um gráfico minimalista. Isto significa que o operador observa um esquema representativo da planta do sistema a ser controlado. Por exemplo, uma imagem de uma bomba pode indicar a quantidade de fluído que a atravessa num determinado momento (o software de HMI permite ver o fluxo de fluído que atravessa a bomba em tempo real) e o operador pode então desligar a bomba se o fluxo atingir valores críticos. Os gráficos minimalistas consistem em linhas gráficas e símbolos esquemáticos para representar elementos do sistema ou podem consistir em fotos digitais do equipamento sobrepostas por elementos gráficos animados que simbolizem o estado do equipamento.

Os pacotes de HMI para os sistemas SCADA incluem tipicamente um programa de desenho que permite aos operadores ou pessoal de manutenção do sistema modificar a forma como estes elementos visuais são apresentados no sistema. Inicialmente não eram utilizadas plataformas de *open source* (tais como o Linux) devido ao ambiente dinâmico em que eram desenvolvidas e porque para os componentes a ser controlados podiam necessitar de licenças UNIX e OpenVMS e partilhar o código desenvolvido. Hoje em dia as estações HMI e estação central são disponibilizadas para a maioria dos sistemas operativos.

2.5. Software em sistemas SCADA

Existem muitos softwares para sistemas HMI/SCADA, muitos dos quais são compatíveis com a maioria dos PLC, permitindo a engenheiros e técnicos a configuração de HMI sem a necessidade de desenvolver software específico.

Os sistemas HMI permitem uma aproximação entre o mundo da automação e o utilizador. Dada a crescente complexidade dos processos modernos, a capacidade de ter uma visão clara do todo é cada vez mais importante.

2.5.1. INTERFACE HOMEM MÁQUINA (HMI)

O desenvolvimento da HMI neste contexto resultou da necessidade de padronizar a forma de apresentar, monitorar e controlar os múltiplos controladores remotos, PLCs, RTUs e outros sistemas de controlo. A informação é recolhida pelos vários controladores, através da rede, processada e apresentada ao operador. A HMI apresenta um sinóptico do sistema, isto é, oferece uma "imagem" do sistema de forma gráfica, a partir de esquemas e/ou figuras que permitem uma visualização, de forma simultânea, dos seus constituintes e do seu estado de funcionamento. Na Figura 7 pode-se visualizar um exemplo de controlo de um processo através de uma HMI.
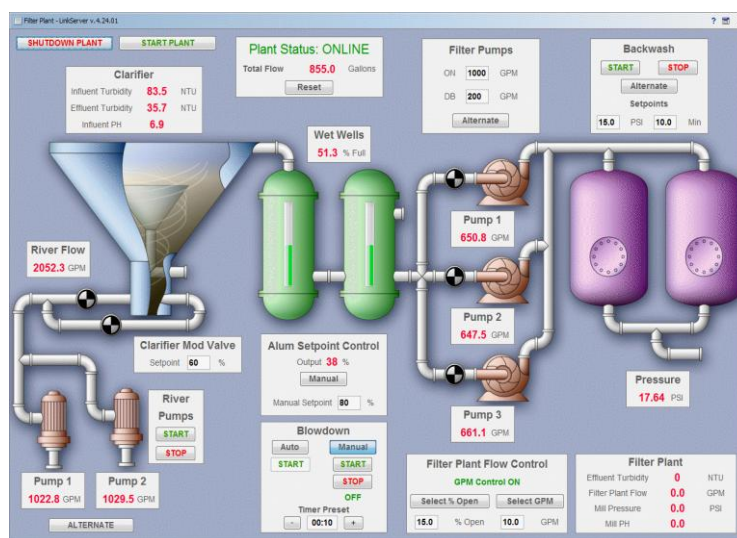
Figura 7 **Exemplo de controlo de um processo através de uma HMI**

Normalmente, uma HMI permite para além da visualização do sinóptico do sistema, também um controlo das suas variáveis.

Uma característica importante no desenvolvimento de uma interface deste tipo é o tratamento dos alarmes, pois a detecção de situações anómalas, permitindo que sejam resolvidas rapidamente, é uma das principais funcionalidades de um sistema SCADA. Por este motivo, quando ocorre uma "situação de alarme" no sistema, esta deve ser demonstrada na interface o mais rapidamente possível e numa zona de fácil visualização.

Existe ainda, nestas interfaces, a possibilidade de analisar o comportamento do sistema ao longo do tempo, através de um registo histórico e de dados estatísticos, apresentados em valores numéricos ou gráficos, que podem ser utilizados para melhorar o desempenho do sistema, tornando assim os SCADA uma ferramenta bastante atraente também para sistemas de gestão de produção e da qualidade.

O módulo HMI pode também ser ligado a uma base de dados para que possa fornecer informação de diagnóstico e executar procedimentos de manutenção pré-programados, fornecer dados de logística, fornecer esquemas de máquinas ou sensores e guias de resolução de problemas especialmente concebidos para situações específicas.

Nos pontos seguintes serão apresentados alguns fabricantes de softwares de sistemas SCADA disponíveis no mercado:

- **Siemens** – O Simatic WinCC Flexible é um sistema SCADA da Siemens que se baseia na tecnologia do Windows, o que proporciona ambientes multitarefas e multiutilizador. Como é um sistema aberto, o WinCC permite a expansão do sistema e a interligação com aplicações de terceiros [24];
- **General Electric (GE) - Fanuc** – O iFIX é um software SCADA, e é ideal para aplicações de HMI simples [23];
- **Wonderware** – O InTouch HMI da Wonderware utiliza uma arquitectura de software aberta, que permite a interligação a qualquer sistema de automação [25];
- **Omron** – O CX-Supervisor é um software que se destina ao desenvolvimento de aplicações para supervisão e controlo de máquinas. Este melhora as suas funções para uma ampla gama de requisitos HMI baseados no PC. Podem ser criadas rapidamente aplicações simples com a ajuda de um grande número de funções e bibliotecas predefinidas, e mesmo as aplicações muito mais complexas podem ser desenvolvidas através de uma linguagem de programação [26];
- **Schneider** – O CitectSCADA é um software de supervisão e controlo de processo e está totalmente integrado em sistemas HMI/SCADA [27].

Existem muitos outros softwares que não foram abordados neste ponto, mas que são especializados para o desenvolvimento de sistemas integrados de aquisição de dados para ambientes industriais.

O Software escolhido para desenvolvimento do estudo e implementação piloto de um Sistema SCADA na Swedwood Portugal é o SIMATIC da Siemens, visto ser um dos softwares existentes e utilizados no desenvolvimento interno de aplicações. Os softwares SIMATIC, Intouch e CX-Supervisor, são os mais utilizados em algumas linhas de montagem existentes na Swedwood Portugal.

2.5.2. PLANEAMENTO DE UM HMI

Antes de adoptar um sistema de supervisão é extremamente importante efectuar um planeamento para que a escolha do mesmo seja a melhor possível. As etapas que devem compor o planeamento de um sistema de supervisão são:

- Entendimento do processo a ser automatizado;
- Determinação das variáveis envolvidas no processo;
- Planeamento da base de dados;
- Planeamento dos alarmes;
- Planeamento da hierarquia de navegação entre interfaces gráficas;
- Desenho do sinóptico;
- Gráfico de tendências;
- Planeamento do sistema de segurança;
- Padrão industrial de desenvolvimento.

3. SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO SCADA

A tecnologia da informação tem sido determinante no desenvolvimento da automação, alterando hierarquias e estruturas nos mais diversos ambientes industriais, assim como em sectores desde as indústrias de processo e transformação, até prédios e sistemas logísticos. A capacidade de comunicação entre dispositivos e o uso de mecanismos padronizados, abertos e transparentes, são componentes indispensáveis do conceito de automação de hoje. A comunicação vem-se expandindo rapidamente no sentido horizontal, nos níveis inferiores (nível de campo), assim como no sentido vertical, integrando todos os níveis hierárquicos. De acordo com as características da aplicação e do custo máximo a ser atingido, uma combinação gradual de diferentes sistemas de comunicação oferece as condições ideais de redes abertas em processos industriais.

Actualmente existem diversos modelos conceptuais que descrevem os diversos sistemas que coordenam o processo produtivo. Devido à complexidade destes sistemas é comum estruturá-los em níveis hierárquicos para facilitar a sua compreensão, nomeadamente:

- Nível de campo;
- Nível de controlo;
- Nível de gestão.

Cada nível hierárquico tem associado um nível de comunicação com exigências próprias na rede.

O nível mais alto, ou seja, o nível de gestão, normalmente interliga os equipamentos responsáveis pelo planeamento da produção, controlo de estoques, dados estatísticos de qualidade, entre outros. Normalmente é implementado através de softwares de gestão, como por exemplo sistemas SAP, Movex e muitos outros. O protocolo TCP/IP Ethernet é o mais utilizado neste nível.

No nível intermédio, é onde se podem encontrar os PLCs e onde se podem ver a troca de informações de controlo a nível das máquinas, ou seja, informações que dizem respeito ao estado de equipamentos tais como robôs, máquinas ferramentas, transportadores, entre outros.

O nível de campo, o mais baixo, é o onde se insere a parte física da rede, e onde se podem localizar os sensores e actuadores.

Na Figura 8 pode-se visualizar uma estrutura hierarquizada com os níveis básicos na indústria.

Figura 8 **Classificação por níveis hierárquicos das redes industriais**

Um ponto importante é a diferenciação entre as redes de informação, controlo e campo.

Na Figura 9 pode-se visualizar as categorias das redes para automação industrial [28].
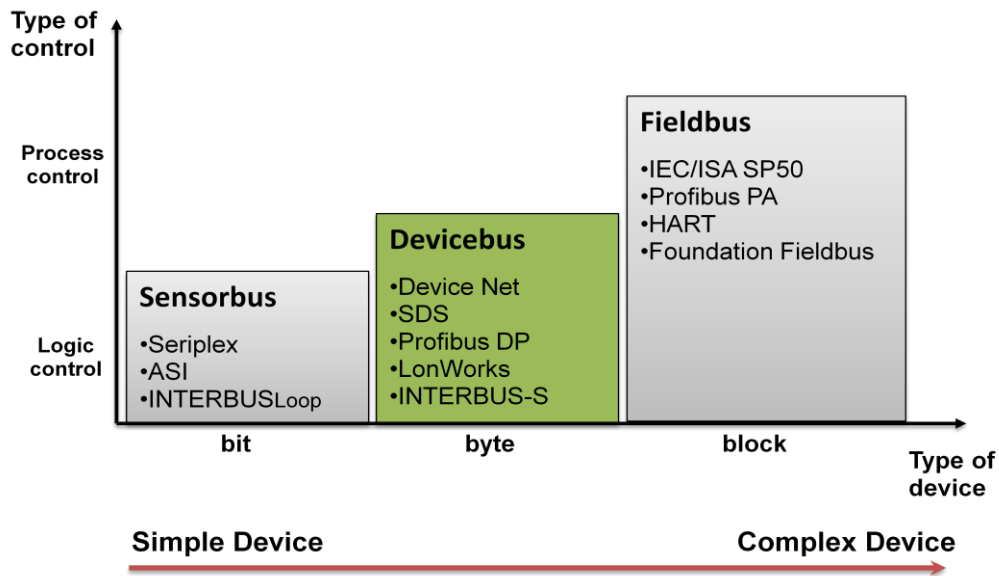
Figura 9 **Categorias das redes para automação industrial**

A rede *Sensorbus* é uma rede de nível mais baixo, que geralmente é usada para ligar pequenos sensores e conectar equipamentos simples e pequenos directamente à rede. A rede é composta geralmente por sensores e actuadores. Este tipo de rede tem por objectivo reduzir os custos de conexão. Os tempos de reacção são da ordem dos milissegundos, com distâncias máximas de 200 metros, e a natureza das informações trocadas é o *bit*. Exemplos típicos são as redes Seriplex, AS-I e INTERBUS [10, 20, 21].

A rede *Devicebus* é encontrada entre as redes *Sensorbus* e *Fieldbus* e pode cobrir distâncias até cerca de 500 metros. Possui os mesmos requisitos de transferência rápida de dados como a rede *Sensorbus* (ordem das dezenas de milissegundos), conseguindo lidar com mais equipamentos e dados. Exemplos típicos são as redes DeviceNet, Profibus DP entre outras [7,11,12].

A rede *Fieldbus* interliga os equipamentos de E/S mais "inteligentes" e pode cobrir maiores distâncias, podendo chegar a 10 km. Os equipamentos conectados nesta rede possuem "inteligência" para desempenhar funções específicas de controlo, como por exemplo o controlo de fluxo de informações e processos. Os tempos de transferência são longos (ordem das centenas de milissegundos) mas, em compensação, a rede é capaz de comunicar utilizando vários tipos de dados (discretos, analógicos, parâmetros, programas e informações do utilizador). Exemplos típicos são as redes Profibus-FMS, Profibus-PA entre outras [11, 12].

A rede *Databus* possibilita a comunicação entre os sistemas de supervisão e os sistemas informáticos de gestão (produção, etc). Os tempos de reacção são da ordem dos segundos (e até minutos), as distâncias máximas são de cerca de 100 km e a natureza das informações trocadas são arquivos com grandes volumes de informação. Utiliza a rede Ethernet (LAN, WAN, Internet).

Tendo como objectivos a minimização dos custos e o aumento da operacionalidade de uma aplicação, introduziu-se o conceito de rede industrial para interligar os vários equipamentos de uma aplicação. A utilização de redes e protocolos digitais prevê um significativo avanço nas seguintes áreas:

- Custos de instalação, operação e manutenção;
- Procedimentos de manutenção;
- Fácil expansão e *upgrades*;
- Informação de controlo e qualidade;
- Determinismo (permite determinar com precisão o tempo necessário para a transferência de informações entre os integrantes da rede);
- Baixos tempos de ciclo;
- Várias topologias;
- Padrões abertos;
- Redundância em diversos níveis;
- Menor variabilidade nas medições com a melhoria das exactidões;
- Medições multi-variáveis.

A opção pela implementação de sistemas de controlo baseados em redes requer um estudo para determinar qual o tipo de rede que faculta as maiores vantagens de implementação ao utilizador final, que deve adquirir uma plataforma de aplicação compatível com o maior número de equipamentos possíveis.

Nos pontos seguintes serão abordadas algumas das redes para automação industrial.

3.1. AS-INTERFACE

A *Actuator Sensor Interface* **(**AS-Interface ou AS-i) é uma das mais inovadoras soluções de rede ao nível de sensores/actuadores. Foi desenvolvida como uma alternativa de baixo custo de estrutura de cablagem e provou ser extremamente fiável após vários anos de

utilização em diversos sectores industriais. O objectivo é ligar entre si sensores e actuadores de diversos fabricantes, substituindo a cablagem paralela tradicional por um único cabo (cabo amarelo) capaz de transmitir dados e alimentação simultaneamente, sendo compatível com qualquer outro barramento de campo ou rede. Existem *gateways* para ligação à CANopen, Profibus, Interbus, RS485 e RS232. A AS-Interface está também de acordo com as normas europeias EN50295, IEC 62026-2.

Na Figura 10 é possível visualizar uma estrutura funcional AS-Interface.

Figura 10 **Estrutura funcional AS-Interface**

A rede AS-Interface é do tipo mestre-escravo. Utiliza apenas um mestre por rede para controlar a troca de dados. O mestre chama cada escravo sequencialmente e aguarda pela sua resposta. Utilizando uma transmissão de formato fixo, a AS-Interface elimina a necessidade de processos complicados de controlo de transmissão. Assim, o mestre consegue interrogar os 31 escravos e actualizar as E/S em menos de 5 ms.

O mestre verifica também a tensão na rede e os dados transmitidos. Reconhece erros de transmissão e falhas dos escravos e reporta estes eventos ao controlador (PLC). É possível trocar ou adicionar escravos durante a operação normal, sem interferir com a comunicação com os outros nós.

O comprimento máximo de cabo para cada mestre é de 100 m, sem repetidores. Com repetidores, pode ir até 300 m. Podem existir dois tipos de escravos: o primeiro é um módulo que permite a ligação de actuadores e sensores padrão 24 V DC. Podem ser módulos de quatro entradas e quatro saídas, para um total de 248 E/S num sistema. O segundo tipo é o actuador ou sensor dedicado. Cada uma destas unidades gere quatro bits de entrada e quadro bits de saída.

Cada um destes equipamentos tem um endereço único na rede. Para haver troca de dados cada escravo ligado à rede deve ser programado com um endereço de 1 a 31. Assim, cada escravo é um módulo ou um equipamento com um endereço atribuído. O endereço, que pode ser alterado em qualquer altura, é guardado em memória não volátil e persiste mesmo sem alimentação. Os endereços podem ser programados pelo controlador (PLC), através do mestre ou com um equipamento especial.

O mestre é responsável pelas seguintes tarefas:

- Identificação dos participantes;
- Configuração acíclica dos valores dos parâmetros dos escravos;
- Diagnóstico do barramento e dos escravos;
- Envio de mensagens ao PLC;
- Configuração dos endereços dos escravos substituídos.

A rede AS-Interface utiliza um cabo especial não blindado e perfilado (para evitar a inversão de polaridade). Este cabo é conhecido como "Yellow flat cable". Existem versões especiais indicadas por cores para aplicações com maior necessidade de potência, como o cabo preto ("Black flat cable", que fornece até 30 V) e o vermelho ("red flat cable", que fornece até 230 V AC). Na Figura 11 é apresentado um corte de perfil do cabo AS-Interface amarelo.
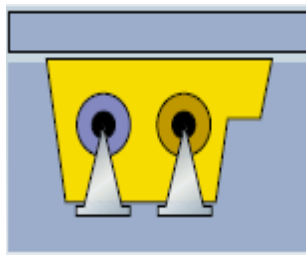
Figura 11 **Formato do cabo AS-Interface.**

Os cabos perfilados podem ser ligados com os conectores dos escravos de maneira fácil e segura em qualquer lugar. A responsável por isso é a técnica de conexão "vampiro", também chamada de *piercing*. Os "dentes" de contacto perfuram a borracha do cabo e estabelecem contacto seguro com os condutores de cobre. No caso de retirada de um escravo, se os dentes são retirados, os buracos fecham devido à capacidade auto-regeneradora do cabo (reactiva o isolamento). Em função da geometria do cabo, está praticamente fora de cogitação uma troca de pólos na instalação e, por isso mesmo, não há

uma capa blindada. Na Figura 12 é possível visualizar exemplos de conexões do cabo AS-Interface.
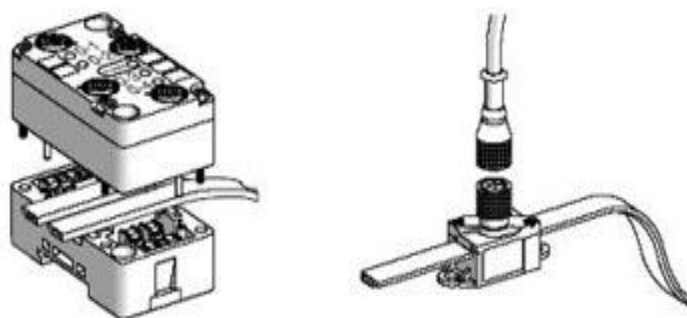
Figura 12 **Conexões do cabo AS-Interface**

Um facto importante que deve ser considerado, é que a AS-Interface foi desenvolvida com um foco específico de aplicação final, que é a comunicação entre dispositivos "discretos", cobrindo uma área que as redes *Fieldbus* mais complexas não atingem com tal desempenho [10, 20-22].

3.2. DEVICENET

A DeviceNet é uma rede digital *multi-drop,* para conexões entre sensores, actuadores e sistemas de automação industrial em geral. Foi desenvolvida para ter máxima flexibilidade entre equipamentos de campo.

Apresentada em 1994, originalmente pela Allen-Bradley, a rede DeviceNet teve a sua tecnologia transferida para a *Open DeviceNet Vendor Association* (ODVA) em 1995. A ODVA é uma organização sem fins lucrativos, composta por centenas de empresas ao redor do mundo, que mantém, divulga e promove o DeviceNet e outras redes baseadas no protocolo *Common Industrial Protocol* (CIP).

A rede DeviceNet é classificada no nível de rede como *Devicebus,* sendo as suas principais características a alta velocidade, a comunicação a nível de *byte* (comunicação com equipamentos discretos e analógicos) e o alto poder de diagnóstico dos dispositivos de rede.

A tecnologia DeviceNet é um padrão aberto de automação com o objectivo de transportar dois tipos principais de informação:

- Dados cíclicos de sensores e actuadores directamente relacionados com o controlo;

- Dados acíclicos indirectamente relacionados com o controlo, tais como dados de configuração e diagnóstico.

Os dados cíclicos representam informações trocadas periodicamente entre equipamentos de campo e os controladores. Por outro lado, os dados acíclicos são informações trocadas, eventualmente, durante a configuração ou diagnóstico do equipamento de campo.

Uma rede DeviceNet pode conter até 64 dispositivos, onde cada dispositivo ocupa um nó na rede, com endereços de 0 a 63. Qualquer um dos nós pode ser utilizado sem qualquer tipo de restrições. Na Figura 13 é possível visualizar um exemplo de uma aplicação da rede DeviceNet.
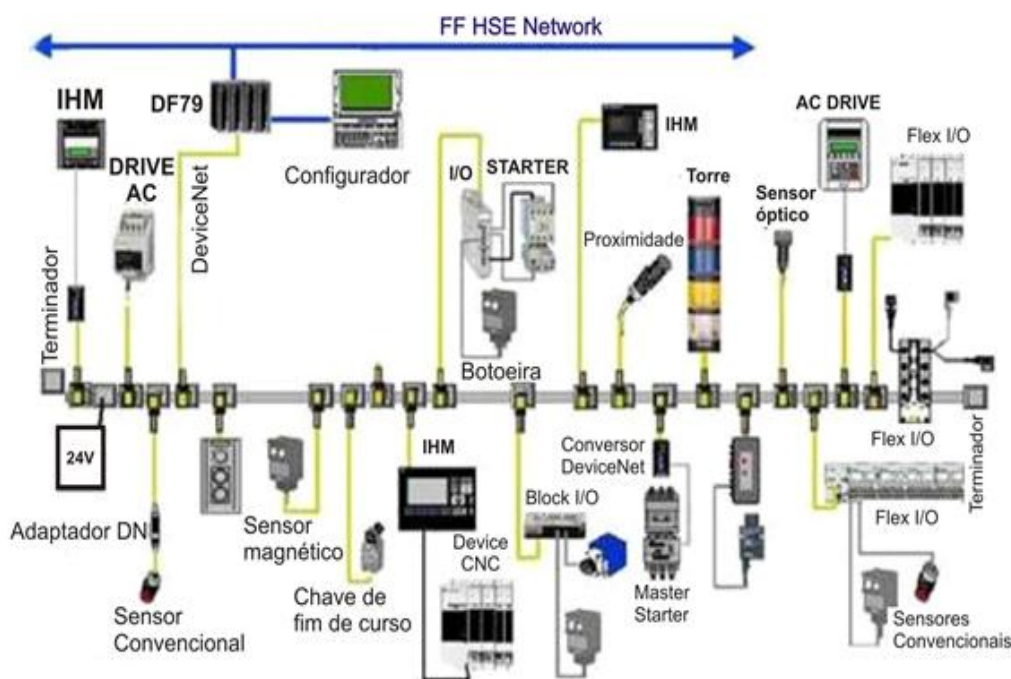
Figura 13 **Exemplo de uma aplicação da rede DeviceNet**

A rede DeviceNet tem como características principais:

- Topologia baseada num barramento principal com ramificações. O barramento principal deve ser constituído por um cabo DeviceNet grosso e as ramificações com um cabo DeviceNet fino ou chato. Podem ser usados cabos similares, desde que as suas características eléctricas e mecânicas sejam compatíveis com as especificações dos cabos padrão DeviceNet;
- Permite o uso de repetidores, *bridges*, *routers* e *gateways*;

- Cabo com dois pares: um para alimentação de 24 V e outro para comunicação;
- Uso de conectores abertos ou selados;
- Alta capacidade de corrente na rede (até 16 A);
- Podem ser usadas diversas fontes na mesma rede, atendendo às necessidades da aplicação em termos de carga e comprimento dos cabos;
- Taxas de comunicação: 125, 250 e 500 kbps;
- Comunicação baseada em conexões de E/S e modelos de pergunta e resposta;
- Diagnóstico da rede e dos equipamentos;
- Transporte eficiente de dados (controlo discreto e analógico);
- Detecção de endereços duplicados na rede;
- Mecanismo de comunicação extremamente robusto a interferências electromagnéticas [7].

3.3. MODBUS

O Modbus é um protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial. Criado na década de 1970 pela Modicon Industrial Automation Systems, é um dos mais antigos protocolos utilizados em redes de PLC para aquisição de sinais e controlo de actuadores. Por esta razão é utilizado em milhares de equipamentos existentes e é uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em automação industrial.

O Modbus utiliza o RS-232, RS-485 ou Ethernet como meio físico. Este protocolo é baseado no modelo de comunicação mestre-escravo, onde um único dispositivo, ou seja o mestre, pode iniciar as transacções. Os restantes dispositivos da rede, os escravos, respondem suprindo os dados requisitados pelo mestre ou executando uma acção por ele comandada. Geralmente o mestre é um sistema supervisor e os escravos são os PLCs.

Dentro da mesma rede o mestre pode transmitir dois tipos de mensagens aos escravos:

- Mensagem tipo *unicast*: o mestre envia uma requisição para um escravo definido e este retorna uma mensagem-resposta ao mestre. Portanto, nesse modo são enviadas duas mensagens: uma requisição e uma resposta;
- Mensagem tipo *broadcast*: o mestre envia a requisição para todos os escravos e não é enviada nenhuma resposta para o mestre.

Na Figura 14 é possível visualizar o ciclo de pergunta-resposta entre o mestre e o escravo. O mestre envia uma ordem e espera por uma resposta, sendo que os dois escravos não podem dialogar em simultâneo. O *Polling* é gerado pelo mestre.
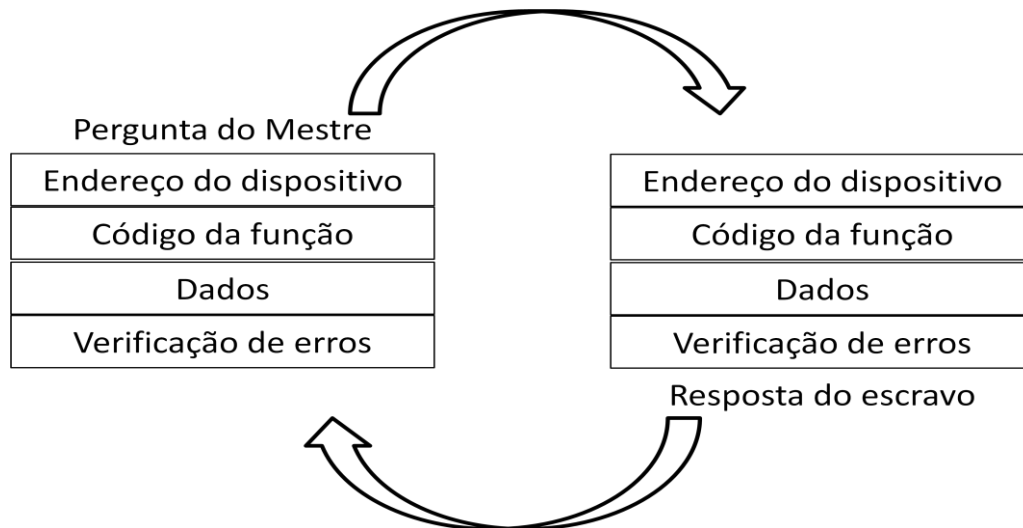
Figura 14 **Ciclo de pergunta-resposta**

Existem dois modos de transmissão série que são definidos como: modo *Remote Terminal Unit* (RTU) e modo *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII). Estes modos definem o conteúdo, em bits, dos campos das mensagens transmitidas em série no barramento. Eles determinam como é que a informação é empacotada nos campos das mensagens e posteriormente como são descodificadas.

O modo de transmissão deve ser o mesmo em todos os dispositivos conectados à linha série.

A interligação entre dispositivos Modbus pode ser efectuada se cada dispositivo tiver o mesmo modo de transmissão. Todos os dispositivos devem implementar o modo RTU, sendo o modo de transmissão ASCII opcional.

Os dispositivos devem ser configurados pelos utilizadores para o modo de transmissão desejado, ou seja, RTU ou ASCII. Embora o modo ASCII seja necessário nalgumas aplicações específicas, normalmente o modo padrão utilizado é o modo RTU.

Na Figura 15 é possível visualizar os diferentes tipos de protocolos Modbus.
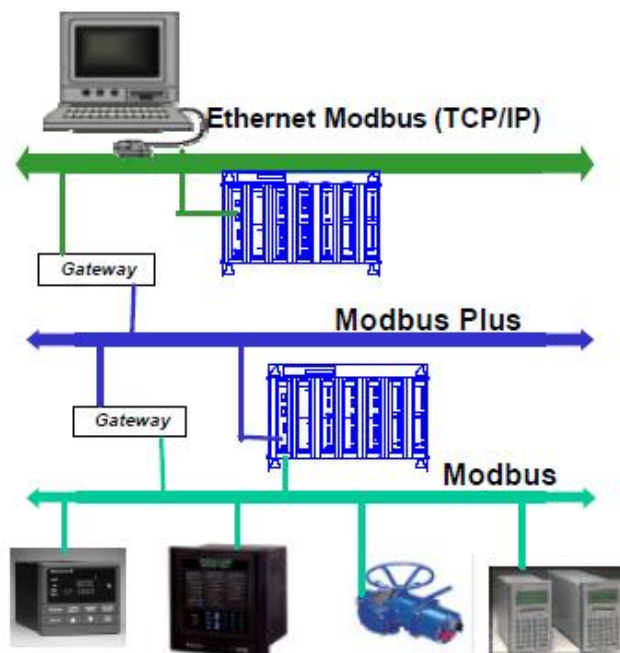
Figura 15 **Tipos de protocolos Modbus**

O Modbus TCP/IP é usado para comunicação entre sistemas de supervisão e PLCs. O protocolo Modbus é encapsulado no protocolo TCP/IP e transmitido através de redes de padrão Ethernet com controlo de acesso ao meio feito por CSMA/CD.

O Modbus PLUS é usado para comunicação entre PLCs, módulos de entrada e saída, HMI, entre outros. O meio físico é o RS-485, com taxas de transmissão de 1 Mbps, e controlo de acesso ao meio feito por *High Level Data Link Control* (HDLC).

O Modbus padrão é usado para comunicação dos PLCs com os dispositivos de entrada e saída de dados, instrumentos electrónicos inteligentes (IEDs), como por exemplo relés de protecção, controladores de processo, actuadores de válvulas, transdutores de energia, entre outros. O meio físico utilizado é o RS-232 ou RS-485 [8-10].

3.4. PROFIBUS

O PROFIBUS é um padrão de rede de campo, aberto e independente de fabricantes, onde a sua interface permite uma ampla aplicação na indústria de processos, manufactura e domótica. Este padrão é garantido segundo as normas EN 50170 e EN 50254.

O PROFIBUS permite a comunicação entre dispositivos de diferentes fabricantes, sem qualquer ajuste especial. Pode ser usado em aplicações de tempo real, que requerem alta

velocidade, e em tarefas de comunicação complexas. Através do seu contínuo desenvolvimento técnico tem-se vindo a tornar num sistema de comunicação industrial preparado para o futuro.

Oferece protocolos funcionais de comunicação (perfis de comunicação) e a sua arquitectura está dividida em três variantes principais: *Descentralized Peripherical* (DP), *Field Message Specification* (FMS) e *Process Automation* (PA).

O PROFIBUS-DP é a solução de alta velocidade. O seu desenvolvimento foi optimizado especialmente para comunicações entre os sistemas de automação e equipamentos descentralizados, voltado para sistemas de controlo, onde se destaca o acesso aos dispositivos de I/O distribuídos. É utilizado em substituição dos sistemas convencionais 4 a 20 mA, HART ou em transmissão com 24 V. Utiliza-se no meio físico RS-485 ou fibra óptica e requer menos de 2 ms para a transmissão de 1 kbyte de entrada e saída, sendo amplamente utilizado em aplicações de controlo com tempo crítico.

Actualmente, utiliza-se o PROFIBUS-DP em cerca de 90% das aplicações envolvendo escravos Profibus. Esta variante está disponível em três versões, como se pode visualizar na Figura 16: DP-V0 (1993), DP-V1 (1997) e DP-V2 (2002). A origem de cada versão está relacionada com o avanço tecnológico e as solicitações das aplicações exigidas ao longo do tempo.
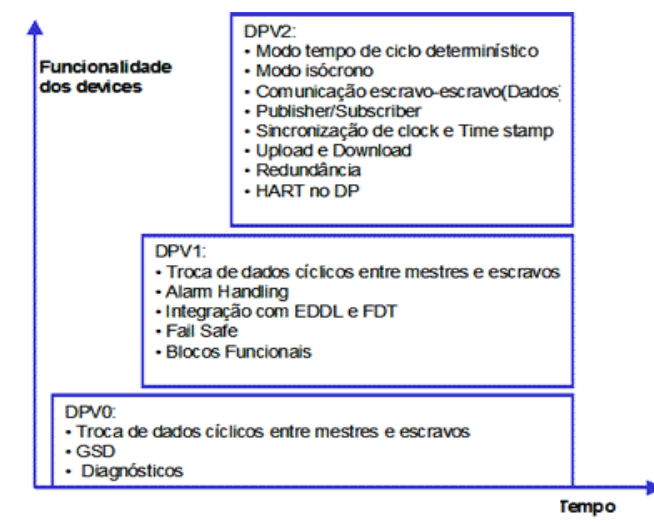
Figura 16 **Versões do PROFIBUS-DP e suas principais características**

O PROFIBUS-FMS faculta ao utilizador uma ampla selecção de funções quando comparado com as outras variantes. É uma solução padrão de comunicação universal, que

pode ser usada para resolver tarefas complexas de comunicação entre PLCs e Sistemas de Controlo Distribuído (DCS). Esta variante suporta a comunicação entre sistemas de automação, assim como a troca de dados entre equipamentos inteligentes e é, geralmente, utilizada ao nível de controlo. Recentemente, pelo facto de ter como função primária a comunicação mestre-mestre (*peer-to-peer*), esta tem sido substituída por aplicações em *Ethernet*.

O PROFIBUS-PA é a solução PROFIBUS que atende os requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão de sistemas de automação e sistemas de controlo de processos com equipamentos de campo, tais como transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores, entre outros. Pode ser usada em substituição do padrão 4 a 20 mA.

Existem vantagens potenciais na utilização desta tecnologia, onde se destacam resumidamente as vantagens funcionais (transmissão de informações confiáveis, tratamento de estado das variáveis, sistema de segurança em caso de falha, equipamentos com capacidades de gestão, fiabilidade dos equipamentos, alta resolução nas medições, integração com controlo discreto em alta velocidade, aplicações em qualquer segmento, entre outras). Além dos benefícios económicos pertinentes às instalações (redução de até 40% em alguns casos, em relação aos sistemas convencionais), custos de manutenção (redução de até 25% em alguns casos, em relação aos sistemas convencionais) e menor tempo de arranque, oferece um aumento significativo em funcionalidade e segurança.

O PROFIBUS-PA permite o controlo por uma linha a dois fios simples, alimentar os equipamentos de campo em áreas intrinsecamente seguras, a manutenção e a conexão/desconexão de equipamentos. O PROFIBUS-PA foi desenvolvido em cooperação com a indústria de controlo e processo, satisfazendo as exigências especiais dessas áreas de aplicação:

- Capacidade de interligação de equipamentos de campo dos mais diversos fabricantes com o barramento de automação do processo;
- Adição e remoção de estações dos barramentos, mesmo em áreas seguras, sem influência para outras estações;
- Uma comunicação transparente através dos acopladores do segmento entre o barramento de automação do processo PROFIBUS-PA e o barramento de automação industrial PROFIBUS-DP;

- Alimentação e transmissão de dados sobre o mesmo par de fios, baseado na tecnologia IEC 61158-2.

A conexão dos emissores e conversores numa rede PROFIBUS-DP é feita por um acoplador DP/PA. O par trançado a dois fios é utilizado na alimentação e na comunicação de dados para cada equipamento, o que facilita a instalação e baixa o custo de hardware, permite menor tempo para iniciação e manutenção livre de problemas, baixando o custo de engenharia de software e aumenta a confiança nas operações.

Todas as variantes do PROFIBUS são baseadas no modelo de comunicação OSI, em concordância com o padrão internacional ISO 7498. Devido aos requisitos de campo, somente os níveis 1 e 2, e ainda o nível 7 no FMS, são implementados por razões de eficiência.

Os dois níveis inferiores são muito parecidos nas três variantes, sendo que a grande diferença está na interface com os programas de aplicação. O nível 1 define o meio físico, o nível 2 (nível de transporte de dados) define o protocolo de acesso ao barramento e o nível 7 (nível de aplicação) define as funções de aplicação. Na Figura 17 é possível visualizar a arquitectura de comunicação do protocolo PROFIBUS.
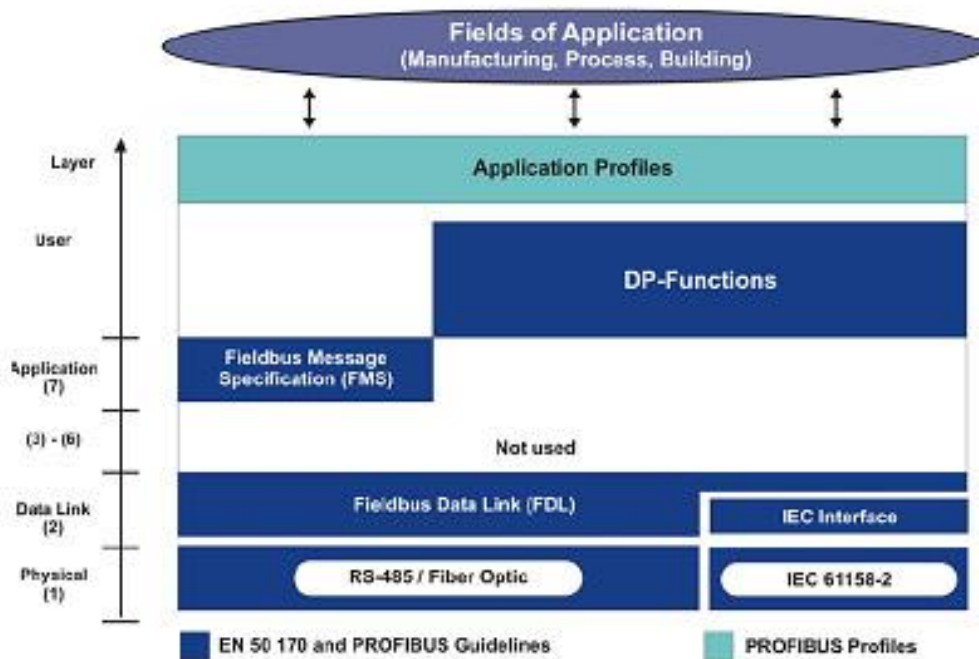
Figura 17 **Arquitectura de comunicação do Protocolo PROFIBUS**

Esta arquitectura assegura a transmissão rápida e eficiente de dados. As aplicações disponíveis ao utilizador, assim como o comportamento dos vários tipos de dispositivos PROFIBUS-DP, estão especificados na interface do utilizador.

O PROFIBUS-FMS define um amplo número de serviços poderosos de comunicação entre mestres e entre mestres e escravos. O *Lower Layer Interface* (LLI) define a representação de serviços do FMS no protocolo de transmissão do nível 2.

O protocolo de comunicação PROFIBUS-PA usa o mesmo protocolo de comunicação PROFIBUS-DP, isto porque os serviços de comunicação e mensagens são idênticos. De facto, o PROFIBUS-PA = PROFIBUS-DP – protocolo de comunicação + Serviço Acíclico Estendido + IEC61158 que é a Camada Física, também conhecida como H1. Este protocolo permite uma integração uniforme e completa entre todos os níveis da automação e as instalações das áreas de controlo de processo. Isto significa que a integração de todas as áreas da instalação fabril pode ser realizada com um protocolo de comunicação que usa variações diferentes [11, 12].

3.5. DNP3.0

O DNP3 é um protocolo aberto, que foi desenvolvido pela Harris Control Division no início dos anos 90, e foi lançado no mercado em 1993 por uma comissão constituída por utilizadores do DNP3.

Este protocolo é geralmente designado por DNP3 ou por *Distributed Network Protocol* versão 3.0 e representa uma norma de telecomunicações que define a comunicação entre Estações *Master,* RTU e equipamentos electrónicos inteligentes. Foi desenvolvido de forma a garantir a interoperabilidade, ou seja, a capacidade de um sistema comunicar com outro de uma forma o mais transparente possível.

No DNP3 o cliente deixa de estar dependente de produtos que impõem arquitecturas fechadas e proprietárias que dificultam a expansão futura do sistema. Este acaba por impôr aos seus fornecedores a continuidade de uma tecnologia e não uma linha de produtos.

O DNP3 é um protocolo robusto, criado a pensar na fiabilidade e não na velocidade. Foi concebido para transportar dados com hora/data da origem, ou seja, da própria RTU. Os pacotes de informação transportados por este protocolo podem atingir os 2 MBytes. Este protocolo foi optimizado para que os dados sejam registados no centro de comando com a

data e hora do momento em que ocorreram na instalação e não do momento em que chegaram ao centro de comando. Em caso de falha de comunicações os dados continuam armazenados na RTU até que a comunicação seja reposta, não havendo desta forma perda de informação. A capacidade de *datalloger* das RTUs não requer programação e é nativa dos equipamentos que suportam o DNP3.

Todos os pontos de leitura têm associado uma *flag* de estado que indica se uma informação é válida ou é inválida, tal como uma medida fora de gama ou uma falha de comunicações com um variador de velocidade, por exemplo.

Toda esta integração do DNP3 com as RTU garante um conjunto de funcionalidades que são nativas ao sistema, sem a necessidade de desenvolvimento de software ao nível da RTU ou do próprio SCADA. Isto não tem nada a ver com os SCADAs industriais que utilizam protocolos padrão, como por exemplo o Modbus, para lerem continuamente apenas o valor corrente de cada um dos endereços de leitura. Por cada endereço de leitura do Modbus, o DNP3 assegura o envio de informação mais detalhada para o centro de comando que inclui o valor corrente, o estado de validade da informação e a data e hora de aquisição da mesma.

O DNP3 permite que os dados apenas sejam registados quando houver uma variação que exceda em *x* % o último valor registado. Desta forma qualquer gráfico mostra as variações reais que de facto ocorreram e com a vantagem de não serem armazenadas em histórico informações repetidas.

Para uma maior fiabilidade aplicada ao DNP3, pode ainda ser activada uma garantia de entrega ao nível das camadas de dados e aplicação do modelo OSI.

O DNP3 foi criado a pensar em arquitecturas distribuídas usando um conceito de *Multimaster*, ou seja, os equipamentos podem trocar informação entre eles sem que um deles seja sempre o *Master*. A comunicação deixa de ser feita por *polling* e passa a ser feita por *exception report*.

Este conceito de comunicação permite que o centro de comando não tenha que varrer todos os equipamentos para obter os dados actualizados, passando a ser os equipamentos que enviam a informação, mas apenas quando esta muda de estado.

Através deste conceito de comunicação, o DNP3 reduz drasticamente o tráfego de dados, uma vez que não há dados repetidos a serem enviados para o centro de comando. O tempo de resposta para as situações mais urgentes, como os casos de alarme, torna-se mais rápido, uma vez que é a RTU que informa o centro de comando quando ocorre algo que de facto é urgente.

O resultado é uma arquitectura de comunicações sem grandes necessidades de largura de banda, pouco afectada com expansões futuras e que explora de forma eficiente redes de comunicações que sejam inclusivamente partilhadas por outras aplicações ou cujo custo esteja dependente do tráfego.

O caso do *General Packet Radio Service* (GPRS) é um exemplo em que os custos de exploração estão dependentes do tráfego realizado. Neste caso, um sistema SCADA com Modbus, que faz um *polling* constante aos equipamentos via GPRS, acaba por originar um pedido e uma resposta que na maior parte do tempo é desnecessário, uma vez que a informação não mudou de estado. O DNP3 permite utilizar o GPRS de forma eficiente, na medida em que o cliente apenas acaba por pagar o transporte de dados referentes às situações de mudanças de estado, não pagando por dados repetidos.

A utilização de tipos de comunicação com menor largura de banda, como uma comunicação via rádio, não prejudica a precisão dos dados recolhidos uma vez que estes são catalogados com data e hora no momento em que são detectados na RTU.

No caso de um sistema SCADA com *polling*, o atraso nas comunicações implica que os dados sejam registados com algum desfasamento desde que foram adquiridos no equipamento até chegarem ao centro de comando. Isto para não referir o facto das leituras acabarem por ser mais espaçadas no tempo, levando a que o tempo de resposta seja mais lento.

Uma das características mais impressionantes do DNP3, para além do *datalogging*, está relacionada com as suas capacidades de *routing*. Através do *routing*, um equipamento que está na extremidade de uma rede pode comunicar com outro equipamento que esteja numa outra extremidade da rede, independentemente de existirem outros equipamentos pelo caminho, com tipos de comunicação distintas. O DNP3 simplifica todo este panorama. As capacidades de *routing* permitem que as RTUs das instalações intermédias façam a gestão de tráfego dos dois equipamentos sem a necessidade de programação.

O DNP3 permite uma maior rentabilidade nas acções de manutenção. Actualmente é necessária uma comunicação por IP com toda a rede de autómatos, sendo necessária uma segunda porta Ethernet apenas para manutenção. Em alternativa é necessário ter um canal de comunicação dedicado só à manutenção. O DNP3, aliado às suas capacidades de *routing*, permite que a mesma rede de comunicações que é usada para comunicar com o centro de comando possa também ser usada, em simultâneo, para acções de manutenção. A rede de comunicações pode ser em IP ou série. Considerando que é possível ligar via Web a um centro de comando e daí aceder a cada uma das RTUs, os benefícios para o cliente e para a empresa responsável pela manutenção são evidentes [13-15].

3.6. OLE FOR PROCESS CONTROL (OPC)

O padrão OPC é composto por um conjunto de especificações para comunicação em ambiente industrial, criado com a colaboração de vários fornecedores importantes de hardware e software para automação, em conjunto com a Microsoft. O padrão permite que aplicações de software troquem dados entre si de forma aberta e simplificada.

A OPC *Foundation* é a organização que gere o padrão OPC e conta com mais de 300 membros, incluindo alguns dos maiores fornecedores mundiais de sistemas de controlo e automação. A primeira versão do padrão OPC surgiu em 1996 e foi desenvolvida sobre uma plataforma Microsoft. O objectivo principal da fundação é desenvolver um padrão de comunicação aberto e flexível, que permita aos utilizadores escolher entre uma grande gama de soluções, além de reduzir consideravelmente os custos de desenvolvimento e manutenção dos fornecedores de hardware e software.

A arquitectura do padrão OPC foi originalmente baseada nas tecnologias *Component Object Model* (COM) e *Distributed Component Object Model* (DCOM) da Microsoft e definiu padrões de objectos, interfaces e métodos para uso em controlo de processos e aplicações de automação na produção. O objectivo principal deste padrão foi a criação de um meio comum para que aplicativos de diferentes camadas do processo possam trocar dados e interagir da forma mais fácil possível. A Figura 18 mostra as diferentes camadas de informação contempladas na arquitectura OPC [29].
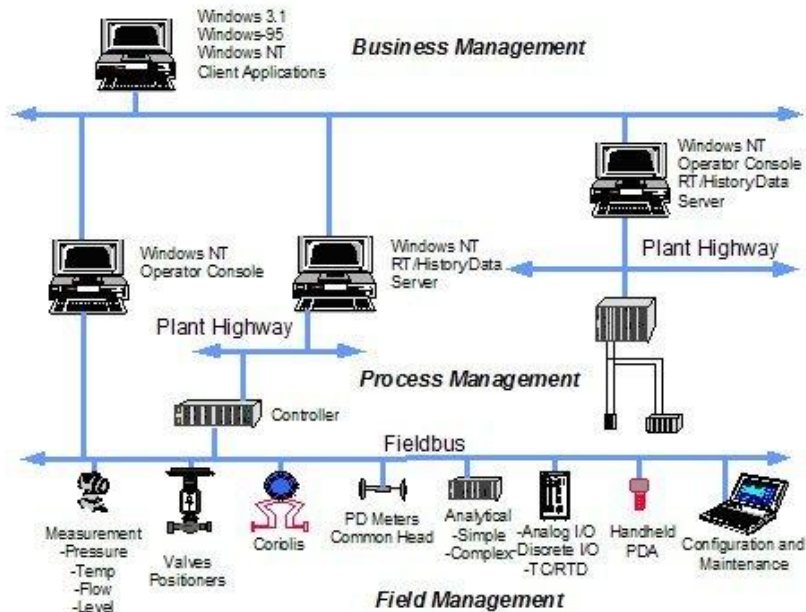
Figura 18 **Camadas de informação englobadas pela tecnologia OPC**

O OPC possibilitou o desenvolvimento de diversos produtos para automação industrial. As principais vantagens deste padrão são:

- Eliminação da necessidade de *drivers* de comunicação específicos, ou seja, proprietários;
- Melhoria no desempenho da comunicação entre dispositivos de automação;
- Interligação entre sistemas de diversos fabricantes;
- Integração com sistemas *Manufacturing Execution Systems* (MES) e *Enterprise Resource Planning* (ERP);
- Padronização das interfaces de comunicação entre os servidores e clientes de dados em tempo real, facilitando a integração e manutenção dos sistemas;
- Redução dos custos e tempos para desenvolvimento de interfaces e *drivers* de comunicação, com a consequente redução do custo de integração de sistemas;
- Facilidade de desenvolvimento e manutenção de sistemas e produtos para comunicação em tempo real.

A arquitectura típica de um ambiente de automação industrial baseado no controlo de processo divide-se em três níveis de funções: supervisão, gestão de processos e gestão de dispositivos. A Figura 19 apresenta as relações entre estes níveis de funções (ver na coluna da esquerda) e as tecnologias de um sistema de supervisão e controlo (na coluna da direita).
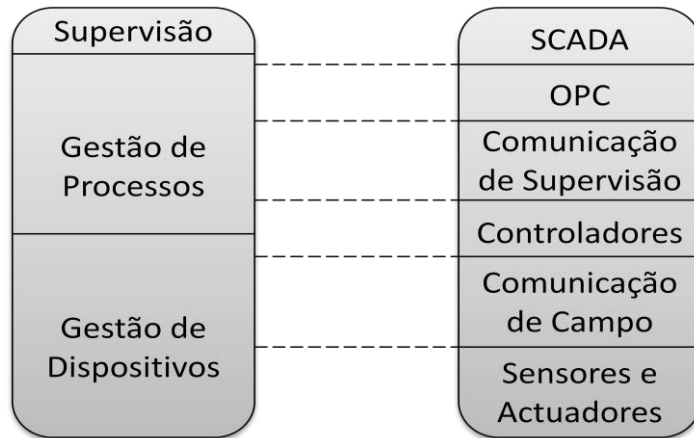
Figura 19 **Arquitectura de um sistema de gestão de processos industriais**

Uma análise inicial da arquitectura apresentada mostra que o padrão OPC é o responsável por estabelecer a interface entre o sistema SCADA e o módulo controlador. A tecnologia *Object Linking and Embedding* (OLE) permite que uma aplicação crie informações e as apresente através de uma segunda aplicação. O objecto criado na aplicação original pode ser conectado à segunda aplicação, que se refere à aplicação original por meio de um ponteiro. Na prática, o módulo OPC funciona como uma *Application Programming Interface* (API) suportando a comunicação entre o sistema SCADA e o módulo controlador. Os fabricantes de controladores fornecem os seus próprios *drivers* OPC para serem agrupados ao servidor OPC do sistema supervisor. Geralmente os módulos OPC são implementados com os protocolos TCP/IP. A Figura 20 descreve a arquitectura entre uma aplicação cliente e servidores OPC de diferentes fabricantes.
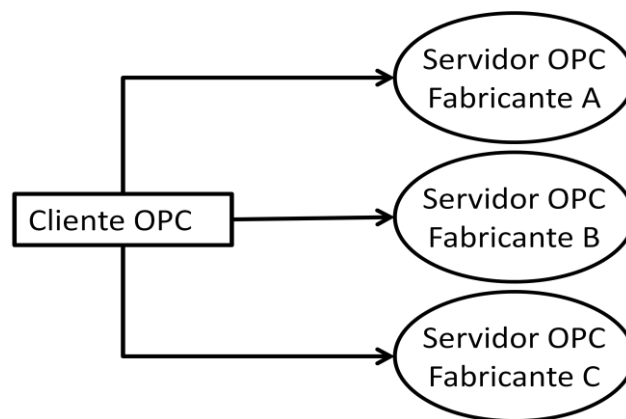
Figura 20 **Arquitectura entre cliente OPC e diversos servidores OPC**

As conexões entre diferentes sistemas SCADA são normalmente baseadas em redes locais Ethernet e são controladas pelo módulo de comunicação do supervisor. A conexão entre o

controlador de processo e os sensores, transdutor e actuadores em campo é realizado pelo módulo de comunicação de campo. Em aplicações de automação e controlo industriais típicos, baseados em PLC, o módulo de comunicação de campo utiliza comunicações ponto-a-ponto como, por exemplo, o protocolo ModBus.

O módulo supervisor é o responsável pelas funções de supervisão e gestão de processos. O módulo OPC, assim como os módulos de comunicação do supervisor e do controlador, são responsáveis pela função de gestão de processos. O módulo controlador também detém a responsabilidade compartilhada na função de gestão de dispositivos, em conjunto com o módulo de comunicação de campo e os elementos terminais, ou seja, sensores, transdutores e actuadores.

As interfaces OPC podem ser utilizadas de diversas formas dentro de uma aplicação de supervisão e controlo, embora inicialmente tenham sido concebidas para recolher dados de uma aplicação servidora. A Figura 21 mostra um exemplo dessa diversidade de relacionamentos entre servidores e clientes OPC. Os dados podem ser adquiridos de sensores, transdutores e actuadores para um sistema SCADA que, ao mesmo tempo, através de um padrão OPC comunica com uma aplicação. Diversas aplicações ou sistemas SCADA podem trocar dados dentro de uma rede, mesmo que estes pertençam a fornecedores diferentes [16, 17].
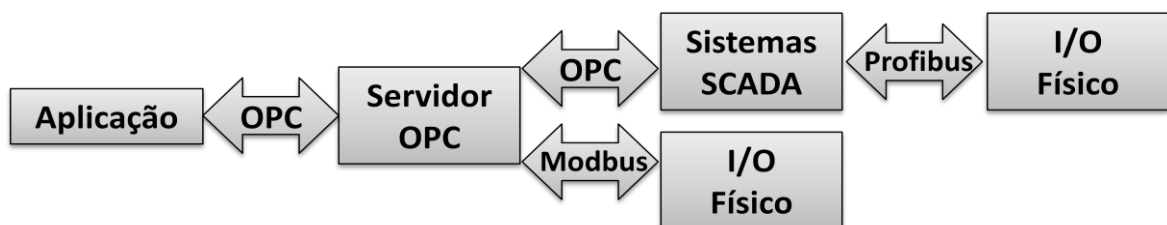
Figura 21 **Exemplo de relacionamento entre servidores e clientes OPC**

3.7. VULNERABILIDADES DE SISTEMAS SCADA

A exposição dos sistemas SCADA às ameaças como vírus e *worms* aumenta à medida que estes são conectados a um número cada vez maior de redes e sistemas para a partilha de dados e fornecimento de serviços *on-line*.

Muitas destas vulnerabilidades evidenciam a necessidade de se aplicarem medidas de segurança tais como a autenticação, verificação de vírus e atribuição de *passwords*, mesmo

considerando os requisitos de precisão de tempo característicos dos sistemas SCADA. No entanto, vírus e *worms* são apenas algumas das ameaças enfrentadas por estes sistemas. Os ataques directos são uma fonte de preocupação ainda maior. A manipulação de sistemas SCADA, como por exemplo por meio de *spoofing*, pode possibilitar a invasão da rede corporativa da empresa e causar sérios prejuízos operacionais e financeiros.

Actualmente, algumas empresas de segurança de dados oferecem serviços de avaliação da rede SCADA e da rede corporativa que podem, por exemplo, ajudar os administradores a avaliar as suas redes SCADA e conexões corporativas, identificar vulnerabilidades e oferecer recomendações.

Soluções como antivírus, *firewall* e detecção de intrusões também estão disponíveis. Quando implementados em vários pontos da infra-estrutura da rede de comunicação, possibilitam reconhecer e deter códigos maliciosos e as tentativas de invasão. Por exemplo, uma *firewall* posicionada entre a rede corporativa e a rede de supervisão poderia ser configurada para bloquear ataques oriundos de todos os endereços IP e portas desconhecidas. Além disso, dispositivos de segurança inseridos na conexão com o *gateway* do terminal remoto podem proteger a rede SCADA com maior eficiência.

As políticas de segurança e as soluções de avaliação de vulnerabilidades existem para ajudar os administradores de rede a formular uma política de segurança de dados baseada em padrões, normas e práticas recomendadas da indústria e depois avaliar a adesão contínua a estas [3].

4. TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Este capítulo tem como objectivo apresentar e justificar a escolha do hardware e do software utilizado no estudo e implementação piloto de um Sistema SCADA na Swedwood Portugal.

Dada a existência de alguns autómatos da Siemens na empresa, optou-se pela utilização do SIMATIC S7-300 com um CPU 314 como hardware de aquisição neste trabalho. Uma segunda opção no hardware de aquisição é o SIMATIC S7-200, sendo este fornecido pelo Departamento de Engenharia Electrotécnia do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

É também utilizado um dispositivo HMI MP270 10" Touch que comunica com o autómato através de um cabo *Multi Point Interface* (MPI). Este dispositivo contém a aplicação de supervisão e controlo, sendo desenvolvido recorrendo a um software SIMATIC WinCC Flexible 2008 da Siemens existente na Swedwood Portugal.

Na Figura 22 pode-se visualizar a arquitectura do sistema piloto proposto.
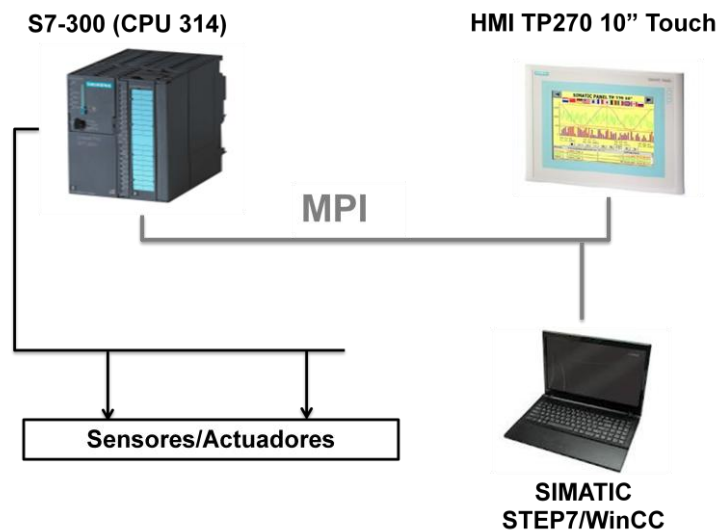
Figura 22 **Arquitectura do sistema proposto**

4.1. HARDWARE

O sistema de aquisição utilizado para este trabalho, como já foi referido, é um autómato SIMATIC S7-300 com CPU 314 (6ES7-3141-AE04-0AB0). Sendo uma das soluções para sistemas integrados à produção, o S7-300 é um sistema modular utilizado em aplicações centralizadas ou distribuídas de pequeno a médio porte.

Na Figura 23 é possível visualizar os elementos constituintes do autómato SIMATIC S7-300 com CPU 314.
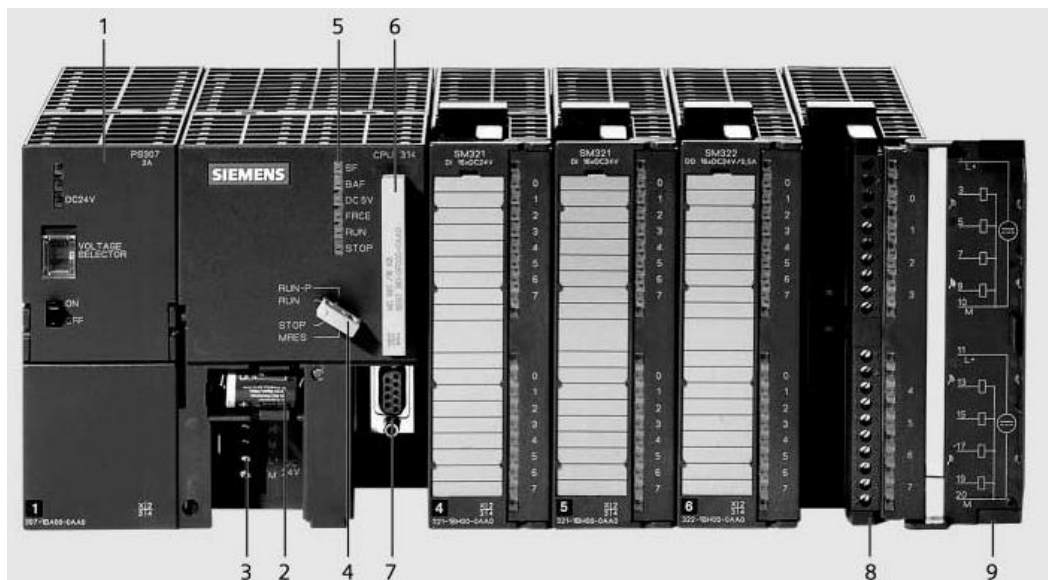
Figura 23 **Elementos do autómato SIMATIC S7-300 com CPU 314**

A descrição dos elementos do autómato S7-300 apresentados na figura é a seguinte:

1. Fonte de alimentação (PS);
2. Compartimento da bateria;
3. Terminais para ligação 24 V;
4. Selector de modo;
5. Sinalizadores que informam sobre o modo de operação do autómato (sinaliza os estados e falhas);
6. Módulo de memória;
7. Porta de comunicação MPI;
8. Módulos de entradas/saídas;
9. Tampa frontal.

O S7-300 não necessita de *racks* com números predefinidos de *slots* para ser montado (fornece uma economia de espaço e flexibilidade de configuração). Os módulos são interligados uns aos outros através de um barramento modular que fica encaixado numa calha DIN padrão.

Em termos de características funcionais, o S7-300 dispõe de diversos CPUs com diferentes capacidades, sendo utilizado em aplicações simples ou aplicações que requeiram grande desempenho.

A utilização de módulos de expansão permite uma grande diversidade de configurações para qualquer tipo de aplicação. Para tal, estão disponíveis:

- Módulos de I/O (SM) – Digitais (24 V DC, 120/230 V AC) e analógicos (± 5 V, 0-10 V, 0/4 – 20 mA);
- Módulos de comunicação (CP) – MPI, Profibus DP e Ethernet;
- Módulos de função (FM) - Contadores, posicionamento, controlo de motor passo a passo, controlo em malha fechada (PID), entre outros.

Numa configuração centralizada podem ser utilizados até cerca de 32 módulos de expansão.

Toda a gama de CPUs do S7-300 traz uma porta de comunicação MPI integrada e é a partir desta porta que o CPU é programado e parametrizado. A programação e a parametrização do PLC S7-300 são realizadas através do software STEP7 Professional.

As principais características da interface MPI são:

- Meio físico RS 485;
- Taxa de transmissão de 19,2 kbps ou 187,5 kbps ou 1,5 Mbps;
- Distâncias de até 50 m (entre dois nós vizinhos) com 2 repetidores.

Cada nó MPI necessita ter o seu próprio endereço (entre 0 e 126; os valores padrões são PG=0, OP/TD=1, e CPUs=2). Na Figura 24 é possível visualizar o endereço MPI padrão de cada nó.
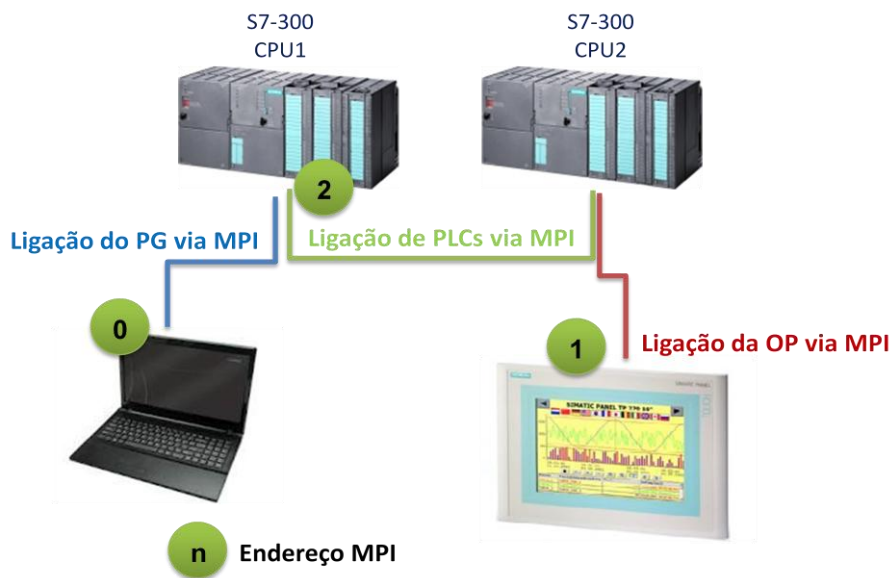
Figura 24 **Endereço MPI padrão de cada nó**

No S7-300, o barramento MPI é fechado através do K *bus* (barramento K) em base um para um. Isso significa que cada nó no K *bus* (FMs e CPs) no *rack* S7-300 também é um nó MPI e necessita de ter o seu próprio endereço.

A principal vantagem é que diversos equipamentos podem estabelecer uma ligação com o CPU ao mesmo tempo. Isto significa, por exemplo, que um equipamento de programação, um equipamento HMI e um outro PLC podem estar em operação ao mesmo tempo. Os equipamentos da Siemens que podem ser conectados através desta porta são:

- PLCs das gamas SIMATIC S7-200/300/400;
- Controladores SIMATIC C7;
- SIMATIC HMI;
- SIMATIC PC (computadores industriais).

Usando uma comunicação MPI é possível a um administrador de redes, através de um PC, ter acesso a todos os módulos inteligentes das estações que estão conectadas.

A configuração das redes de comunicação entre estações é feita através do software SIMATIC Manager da Siemens. Para tal devem ser criadas as estações a serem utilizadas na rede. Na Figura 25 é possível visualizar as estações criadas no projecto.
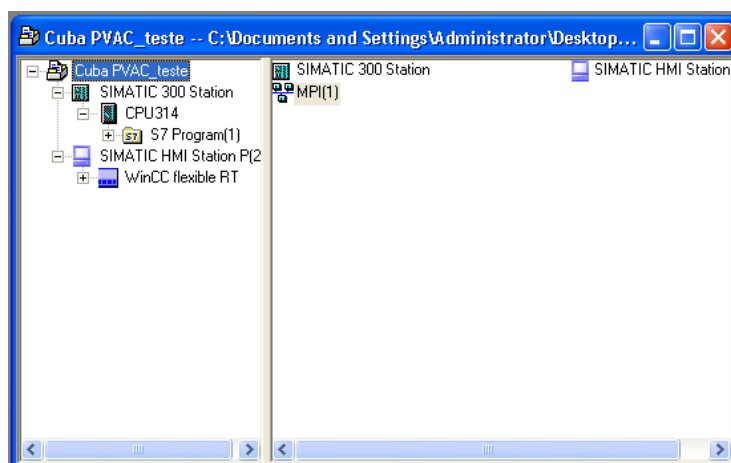
Figura 25 **Estações criadas no projecto**

Após a criação destas, através da ferramenta "HW config", pode-se configurar cada estação, uma a uma. Ao configurar o hardware, deve-se definir o CPU a ser colocado em rede via MPI e atribuir o seu próprio endereço de nó. Também se podem associar os módulos de expansão.

Neste projecto os módulos utilizados são os seguintes:

- Módulo de entradas/saídas digitais (DI16/DO16x24V/0,5A);
- Módulo de entradas/saídas digitais (DI16/DO16x24V/0,5A);
- Módulo de alimentação PS3072A (6ES7-307-1BA00-0AA0).

Na Figura 26 é possível visualizar a configuração do hardware, modos de expansão e a definição do endereço de nó MPI.
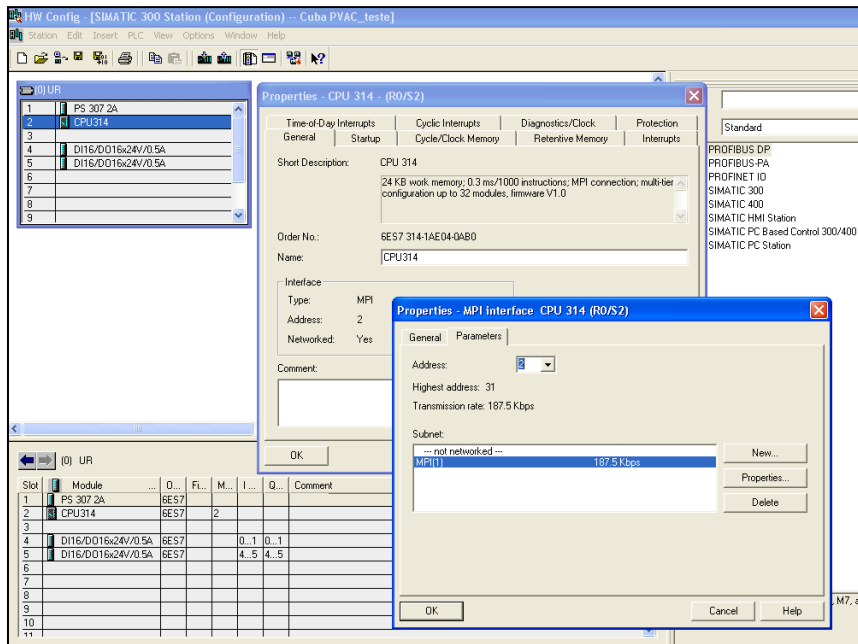
Figura 26 **Configuração do hardware**

Um outro método que pode ser utilizado na configuração do hardware é através da ferramenta "NetPro". A partir desta ferramenta, pode-se configurar graficamente a rede de comunicação (MPI, Profibus ou Ethernet Industrial), a inserção de novas estações e configurar os dados globais do sistema. Na Figura 27 é possível visualizar a configuração da rede de comunicação entre as duas estações criadas no projecto.
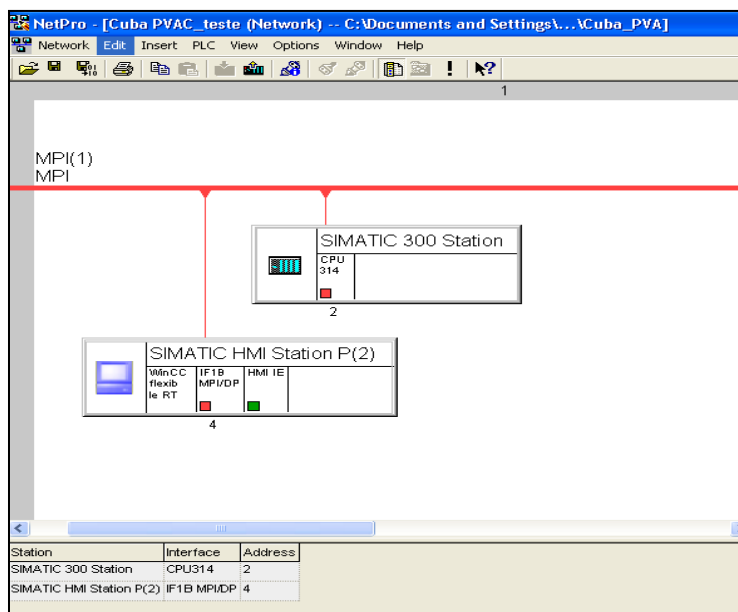
Figura 27 **Configuração da rede de comunicação entre as duas estações criadas no projecto**

4.2. SOFTWARE

O Software escolhido, para o desenvolvimento do estudo e implementação piloto de um Sistema SCADA na Swedwood Portugal, como referido anteriormente, é o SIMATIC da Siemens, visto ser um dos softwares utilizados no desenvolvimento interno de aplicações.

O software SIMATIC permite uma interacção entre as várias aplicações; para tal foram utilizados os diversos softwares para a execução do trabalho proposto:

- SIMATIC Manager – Permite gerir o projecto quando o STEP 7 é iniciado;
- SIMATIC WinCC Flexible – Para o desenvolvimento de sistemas HMI;
- SIMATIC WinCC Flexible Runtime – Para simulação da aplicação HMI;
- SIMATIC S7 PLCSIM – Para a simulação do programa desenvolvido;
- Criação de uma base de dados comum entre as aplicações.

O SIMATIC Manager é a aplicação básica para a configuração e programação quando o STEP 7 é iniciado, qual permite executar as seguintes funções (orientadas a objectos):

- Configurar o projecto;
- Configurar e atribuir parâmetros ao hardware;
- Configurar a rede de comunicação;
- Programação de blocos;
- Simulação do programa.

Sempre que o SIMATIC Manager é iniciado é activado o STEP 7 Wizard de modo a iniciar um novo projecto, no qual se pode:

- Seleccionar o controlador programável que mais se adequa ao projecto;
- Definir o endereço MPI alocado ao controlador;
- Seleccionar o bloco de organização OB1;
- Seleccionar o tipo de linguagem de programação (*Ladder Logic* (LAD), *Statement List* (STL) ou *Function Block Diagram* (FBD)).

Assim que é fechado o STEP 7 Wizard é aberta uma janela com o projecto definido, ficando todas as janelas e funções do STEP 7 disponíveis.

Na Figura 28 pode-se visualizar a estrutura do projecto criado referente ao trabalho desenvolvido na Swedwood Portugal.
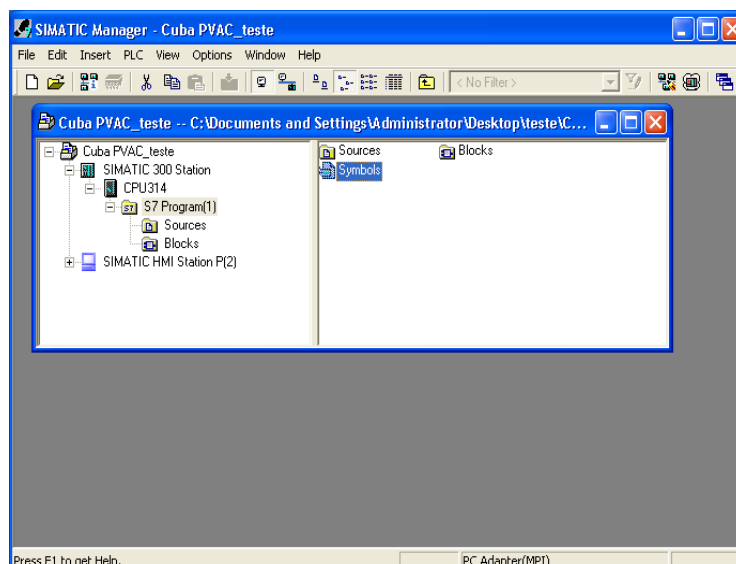
Figura 28 **Estrutura do projecto criado na Swedwood Portugal**

Dentro da estrutura do projecto é possível navegar para a pasta S7 Program (1) que contém todos os componentes necessários ao programa. Dentro desta pasta, pode-se visualizar a pasta *Blocks* que contém o OB1 e outras funções de blocos criados na programação do trabalho, e a *Symbol Table* onde se pode atribuir os nomes simbólicos e o tipo de dados referentes a todos os endereços absolutos das variáveis globais utilizadas no programa. Na Figura 29 pode-se visualizar a *Symbol Table* utilizada no trabalho.

	Status	Symbol	Address	Data type	Comment
1	X				
2		Alarme001	M 7.0	BOOL	Paragem emergencia
3		Alarme002	M 7.1	BOOL	Limite minimo de cola na cuba
4		Alarme003	M 7.2	BOOL	Viscosidade fora do limite maximo
5		Alarme004	M 7.3	BOOL	Viscosidade fora do limite minimo
6		Alarme005	M 7.4	BOOL	Motor misturador modo manual
7		Alarme006	M 7.5	BOOL	Valvula entrada modo manual
8		Alarme007	M 7.6	BOOL	Bomba saida modo manual
9		Alarme01	MW 6	WORD	Alarmes HMI
10		auto	M 6.7	BOOL	automatico
11		AutoManual	FC 4	FC 4	
12		Bomb_saida	Q 4.1	BOOL	Bomba saida
13		COMPLETE RESTART	OB 100	OB 100	Complete Restart
14		Cycle Execution	OB 1	OB 1	
15		emerg	I 0.3	BOOL	Botão emergencia
16		Etapa0	M 0.0	BOOL	
17		Etapa1	M 0.1	BOOL	
18		Etapa2	M 0.2	BOOL	
19		Etapa3	M 0.3	BOOL	
20		Etapa4	M 0.4	BOOL	
21		Etapa5	M 0.5	BOOL	
22		FC - Geral	FC 3	FC 3	Função geral
23		Frist scan	M 1.2	BOOL	Primeiro scan
24		HMI:A_Bomb_saida	M 6.1	BOOL	Activa bomba saida
25		HMI:A_Mt_mix	M 5.4	BOOL	activa manualmente motor misturador
26		HMI:A_Valv_entrada	M 6.0	BOOL	Activa manualmente a valvula entrada
27		HMI:auto	M 4.1	BOOL	Botão automático HMI

Figura 29 ***Symbol Table* utilizada no trabalho**

Ao abrir a pasta *Blocks*, o bloco OB1 pode ser aberto de acordo com a linguagem seleccionada no STEP 7 Wizard. No entanto, pode-se mudar novamente a linguagem padrão a qualquer altura.

No STEP 7 o OB1 é processado ciclicamente pelo CPU, que faz uma leitura de linha a linha e executa os comandos do programa. Quando o CPU volta à primeira linha do programa, quer dizer que completou exactamente um ciclo.

As funções de blocos (FB) e funções (FC) estão abaixo da OB1 em termos de hierarquia do programa; estas contêm uma parte do programa que pode ser chamado muitas vezes na OB1. Todos os parâmetros e dados estáticos na função de blocos são guardados em separado num bloco de dados (DB) atribuído. Já nas funções não é necessário um bloco de dados.

O SIMATIC S7-PLCSIM é um software de simulação de apoio ao desenvolvimento de programas no STEP7. Este permite a criação de ambientes de simulação e teste, de modo a que rapidamente se possa optimizar e detectar erros no programa antes de este ser carregado para o controlador. Isto permite a diminuição dos custos e a rápida inicialização de todo o processo de implementação do sistema.

O PLCSIM simula um controlador que permite testar os programas exactamente da mesma forma que um controlador real. Fornece uma interface simples para monitorar e modificar diferentes objectos, tais como variáveis de entrada e saída. Na Figura 30 pode-se visualizar a interface do SIMATIC S7-PLCSIM.
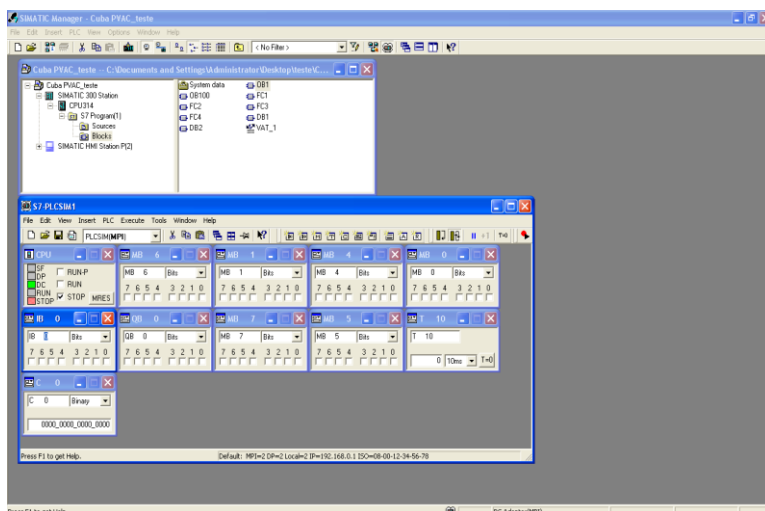
Figura 30 **Interface do SIMATIC S7-PLCSIM**

Pode-se utilizar o PLCSIM para executar as seguintes tarefas:

- ON/OFF do simulador a partir do SIMATIC Manager através do botão de simulação ;
- Executar programas destinados ao S7-300 ou S7-400 através do simulador;
- Inserir caixas para a visualização de objectos, que permitam a entrada e saída nas áreas de memória, contadores e registos da simulação;
- Executar temporizadores automaticamente ou definir manualmente;
- Mudar o modo operacional do CPU (STOP, RUN e RUN-P);
- Gravação de eventos (manipulação de entrada e saída de dados, bits de memória, temporizadores e contadores).

O modo de simulação está disponível a partir do SIMATIC Manager desde que não haja ligações com o PLC real. Para iniciar a utilização do S7-PLCSIM, é importante seguir uma série de passos importantes para estabelecer a ligação com o programa do STEP 7:

- Abrir o programa SIMATIC Manager e abrir o projecto a simular;
- Clicar no botão de simulação;
- Seleccionar o endereço do nó MPI padrão;
- Navegar na pasta *Blocks*;
- Fazer o download dos blocos para o simulador;
- Dentro do PLCSIM, inserir caixas para visualização de objectos (entrada e saída de dados, bits de memória, temporizadores e contadores);
- Ligar o PLC em *Power on*, através da barra de menus;
- Através da barra de menus, seleccionar o modo de varrimento, neste caso modo contínuo;
- Seleccionar o modo operacional do CPU.

É também possível através de ferramentas de visualização do STEP 7 seguir a simulação do programa:

- Através do botão de modo online ;
- Navegar através das funções de blocos;
- Quando o simulador do PLC está em modo de execução, pode-se visualizar as alterações no programa para qualquer alteração nas entradas e saídas de dados.

Graças à interacção com o software SIMATIC STEP 7, os projectos desenvolvidos no software SIMATIC WinCC Flexible podem ser geridos através do SIMATIC Manager, compartilhando as mesmas configurações de comunicação, variáveis e alarmes. Esta interacção permite uma redução a nível de custos de configuração e uma redução significativa de erros. Na Figura 31 é possível observar a interacção da estação HMI do trabalho proposto desenvolvida no WinCC Flexible, com o SIMATIC Manager.
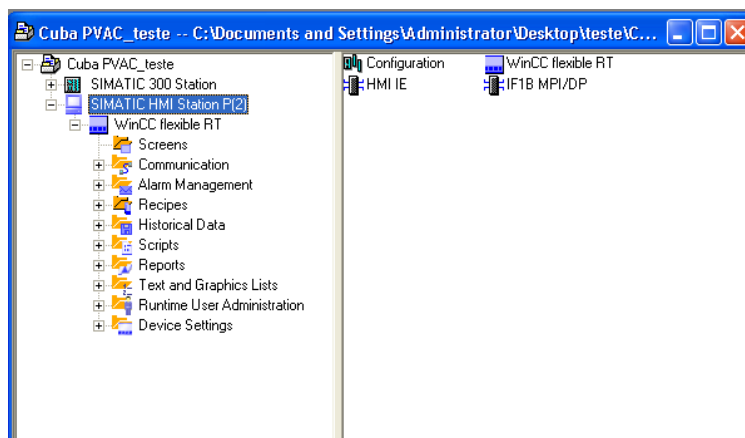
Figura 31 **Interacção da estação HMI desenvolvida no WinCC com o SIMATIC Manager**

O software SIMATIC WinCC Flexible contém uma série de editores e ferramentas para diferentes tarefas de configuração. A flexibilidade deste software permite a configuração de cada sinóptico de acordo com as necessidades existentes no trabalho, o que permite adaptar o sinóptico a cada situação de modo a tornar a aplicação o mais amigável possível para o utilizador.

A criação e a configuração de um sistema reúne todos os objectos que são necessários para que o utilizador possa monitorar e operar:

- Sinópticos, para descrever e operar o sistema;
- *Tags*, para transferir dados entre o dispositivo HMI e o sistema a controlar;
- Alarmes, para indicar o estado operacional do sistema no dispositivo HMI.

Quando se inicia o software SIMATIC WinCC Flexible, este abre o *Project Wizard* que fornece suporte na criação de um projecto. Este vai orientar o utilizador na configuração do sistema, passo a passo, de modo a adaptar o projecto às necessidades pretendidas. Durante a configuração inicial do projecto, é extremamente importante definir:

- O cenário a que se aplica (no caso do trabalho proposto na Swedwood Portugal é do tipo “Small machine”);

- O dispositivo HMI e as suas características;
- O tipo de rede de comunicação;
- O tipo de controlador.

Após a configuração inicial do projecto, o *Project Wizard* define automaticamente alguns objectos que são necessários criar e configurar pelo utilizador:

- Os Sinópticos – O "*Template*" do dispositivo HMI é aberto automaticamente na área de trabalho e pode-se iniciar a construção do sistema a controlar e operar pelo utilizador;
- As ligações entre o dispositivo HMI e o PLC;

Na Figura 32 é possível observar o "Template" do dispositivo HMI utilizado neste trabalho e a janela de configuração das ligações entre o dispositivo HMI e o PLC.
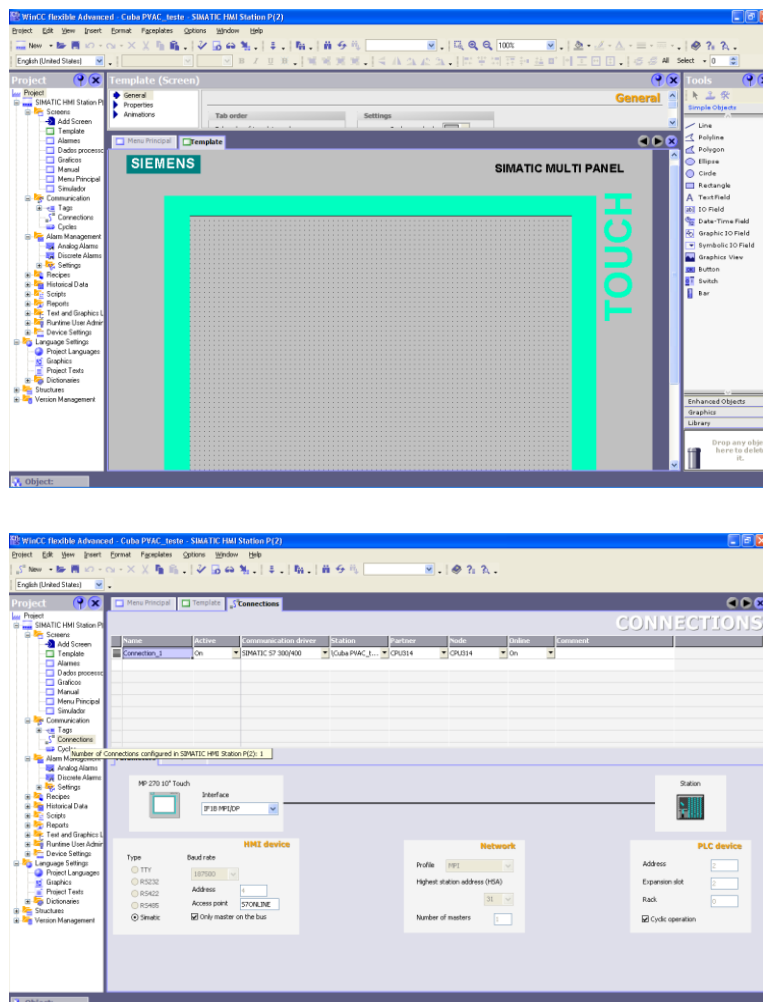
Figura 32 **Template do dispositivo HMI e a configuração das ligações entre o HMI e o PLC**

Durante a construção do sinóptico, pode-se adicionar um conjunto de objectos que vão definir o sistema pretendido, como por exemplo:

- Objectos operacionais, tais como janelas de alarme, campos de I/O de dados ou botões;
- Objectos para exibir valores, como gráficos de tendências e gráficos de barras;
- Objectos informativos para a descrição dos sinópticos.

A combinação de variáveis de processo (associadas ao controlador) aos objectos criados no sinóptico, vai permitir uma interligação do *S7 program* criado no STEP 7 ao dispositivo HMI, isto significa que não é necessário criar novas variáveis dentro do WinCC Flexible. Na Figura 33 pode-se visualizar o acesso às "*Tags*" criadas no STEP 7 através do WinCC Flexible.
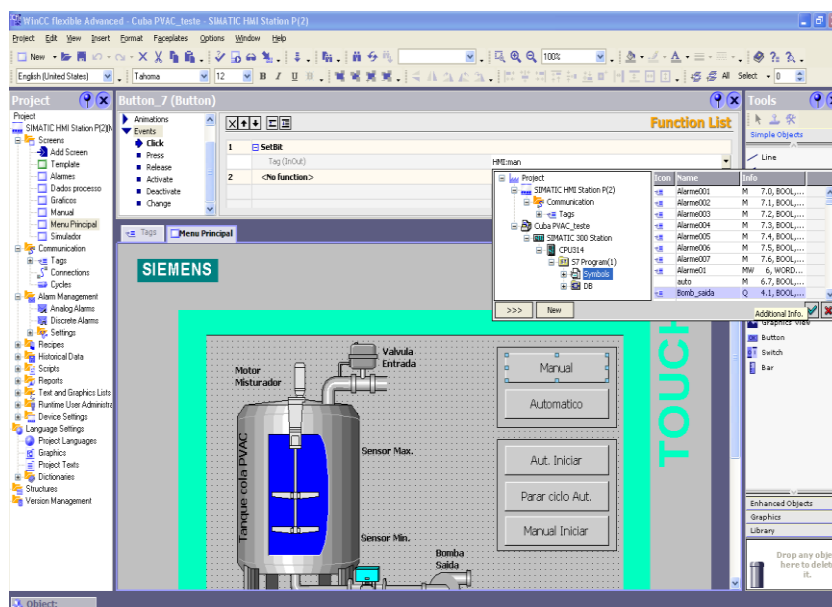
Figura 33 **Acesso às "*Tags*" criadas no STEP 7 através do WinCC Flexible**

Após a finalização de todos os sinópticos propostos, é extremamente importante compilar e testar o trabalho realizado. Se não ocorrer nenhum erro ou aviso durante a compilação, o projecto pode ser simulado. Se tiver ocorrido um erro, este salta directamente para a localização de erros no projecto.

Na Figura 34 apresenta-se, a título de exemplo, um dos sinópticos do trabalho proposto criado no SIMATIC WinCC Flexible.
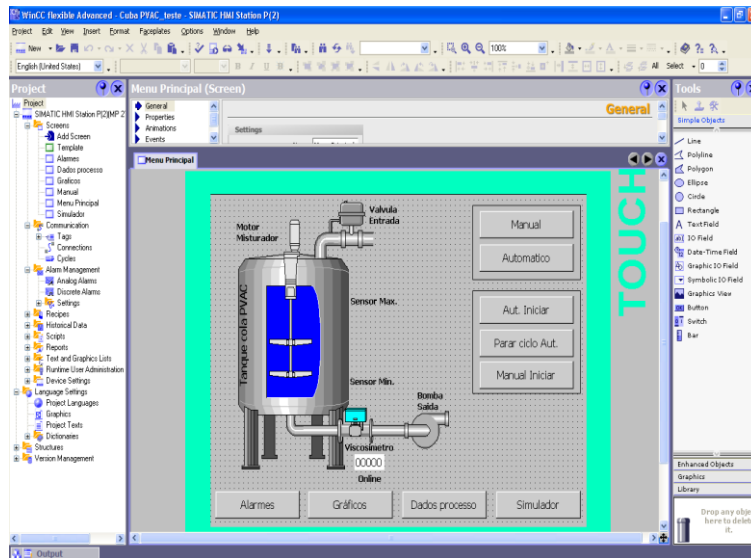
Figura 34 **Um sinóptico do trabalho proposto criado no SIMATIC WinCC Flexible**

O software SIMATIC WinCC Flexible foi instalado com uma componente de simulação, ou seja, o SIMATIC WinCC Flexible Runtime. O SIMATIC WinCC Flexible Runtime é um software integrado que, dependendo do equipamento, oferece diferentes funcionalidades HMI e perfis de desempenho.

O Simulador muda os valores das *tags* configuradas no trabalho. A selecção das *tags* e a mudança de valores é realizada através de uma tabela de simulação. Isto permite verificar as funções e os processos da configuração sem ligação ao PLC. Na Figura 35 pode-se observar a tabela de simulação e a simulação de um sinóptico do trabalho proposto.
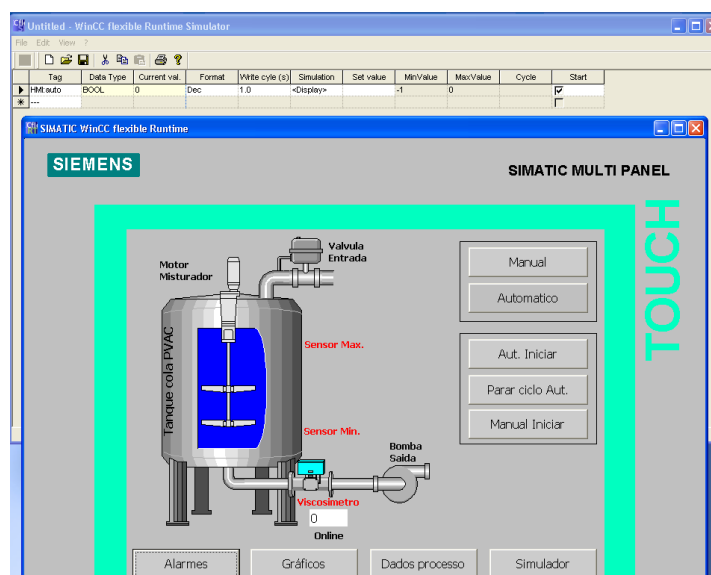
Figura 35 **Tabela de simulação e a simulação de um sinóptico do trabalho proposto**

5. TRABALHO DESENVOLVIDO

Neste capítulo pretende-se descrever como foram desenvolvidas as interfaces gráficas (sinópticos) que permitem aos elementos de operação uma maior supervisão e controlo do sistema de armazenamento de cola PVAC no seu posto de trabalho, sem ter a necessidade de deslocações periódicas à sala de colas.

Os requisitos estipulados no desenvolvimento do sistema SCADA para a sala de colas foram cumpridos e estão a funcionar, apesar de o sistema SCADA não ter sido implementado fisicamente na sala de colas. As interfaces gráficas e a programação do sistema desenvolvido foram testadas e simuladas em conjunto, através dos softwares de simulação abordados no capítulo anterior.

O profundo conhecimento do processo é fundamental para o desenvolvimento do sistema de supervisão, embora com a evolução do processo as necessidades cresçam, assim como a evolução do sistema de supervisão para corresponder a essas necessidades.

5.1. DESCRIÇÃO DAS INTERFACES GRÁFICAS DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE COLA PVAC

Através das interfaces gráficas abaixo descritas, é possível supervisionar e controlar todo o processo do sistema de armazenamento de cola PVAC, assim como proceder à supervisão e controlo da climatização da sala de colas.

Na Figura 36 apresenta-se a interface gráfica principal da estação de supervisão e controlo, onde é possível visualizar o estado de todos os sensores e actuadores utilizados no sistema de armazenamento de cola PVAC, assim como o estado da climatização da sala de colas.
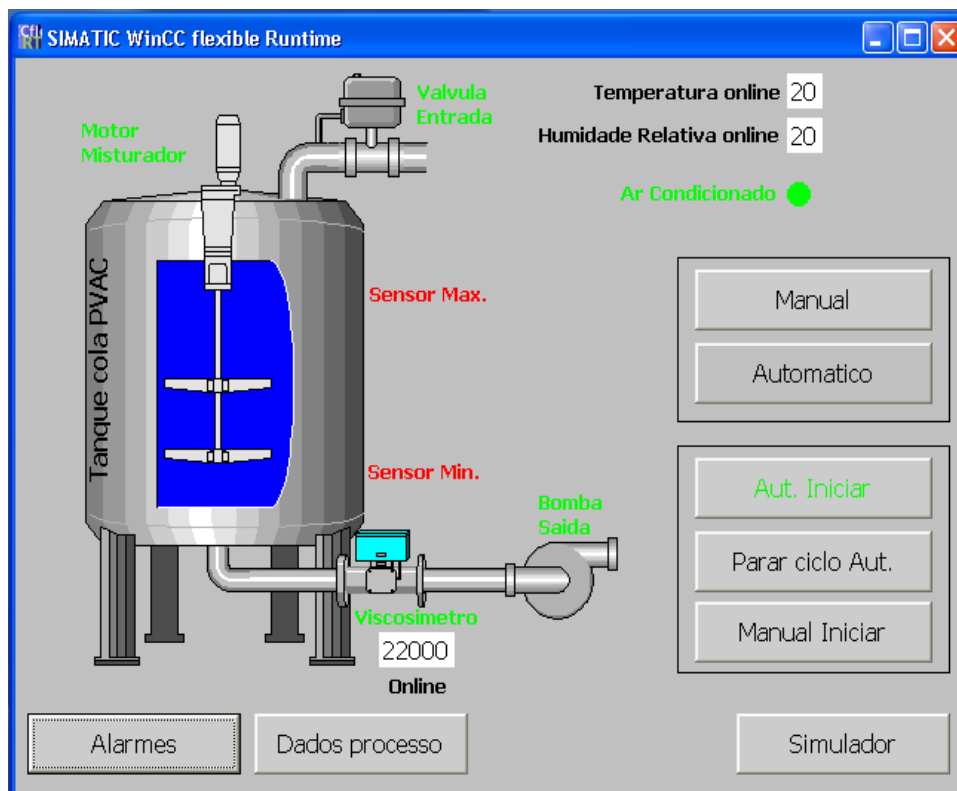
Figura 36 **Interface gráfica principal do sistema de supervisão e controlo**

A interface é composta por um conjunto de botões que têm as seguintes funções:

- Botão "Manual" – Permite activar o modo manual do sistema;
- Botão "Automatico" – Permite activar o modo automático do sistema;
- Botão "Aut. Iniciar" – Permite activar o início de ciclo em modo automático;
- Botão "Parar ciclo Aut." – Permite desactivar o ciclo automático;
- Botão "Manual Iniciar" – Activa a interface gráfica que permite o manuseamento manual dos actuadores;

- Botão “Alarmes” – Activa a interface gráfica que permite a visualização dos alarmes do sistema;
- Botão “Dados processo” – Activa a interface gráfica que permite a definição dos intervalos ideais da viscosidade, temperatura e humidade relativa;
- Botão “Simulador” – Activa a interface gráfica que permite activar/desactivar os sensores, e simular as variáveis de viscosidade, temperatura e humidade relativa.

O sistema é composto por dois modos de funcionamento: modo automático para funcionamento normal do sistema; e modo manual para suporte à manutenção (activação manual dos actuadores).

Após a activação do sistema em modo automático (através do botão “Automático”) e a activação do botão “Aut. Iniciar”, é iniciado o processo de abastecimento da cuba com cola PVAC.

O sistema verifica o estado dos sensores de nível máximo/mínimo e activa/desactiva a válvula de entrada, de modo a alimentar a cuba. Quando a cuba fica cheia, o sensor de nível máximo é activado e a válvula de entrada é desactivada. Quando o nível da cola atinge o nível mínimo, o sensor nível mínimo é desactivado, este gera um alarme e, em simultâneo, é activada a válvula de entrada, de modo a abastecer novamente a cuba.

A alimentação às linhas de montagem é feita constantemente através da bomba pneumática de saída. Se as linhas de montagem estiverem paradas a bomba pneumática fica parada até que a linha necessite de ser alimentada novamente.

O viscosímetro mede *online* a viscosidade da cola PVAC que passa ao longo do tubo de alimentação às linhas de montagem. Se o valor da viscosidade estiver acima do valor definido na interface gráfica dos “Dados do processo”, o sistema gera um alarme e é activado o motor misturador durante um período de tempo de modo a reduzir a viscosidade. Se o valor da viscosidade estiver abaixo do valor definido, o sistema gera um alarme e o motor misturador é desactivado.

Através da interface gráfica principal é também possível supervisionar o controlo da climatização da sala de colas *online*, podendo-se visualizar a temperatura e a humidade relativa, assim como o estado em que se encontra o equipamento de ar condicionado.

O modo automático é desactivado através do botão “Parar ciclo Aut.” ou através do botão “Manual”. Quando desactivado o sistema fecha automaticamente a válvula de entrada, de modo a que não haja um derrame de cola, motivado por excesso de cola PVAC na cuba.

Como já foi referenciado no ponto anterior, através do botão “Dados processo”, é activada a interface gráfica que permite a definição e a alteração dos intervalos ideais da viscosidade da cola PVAC, temperatura e humidade relativa definidos pelos responsáveis de processo. Na Figura 37 mostra-se a interface gráfica de controlo dos dados do processo.
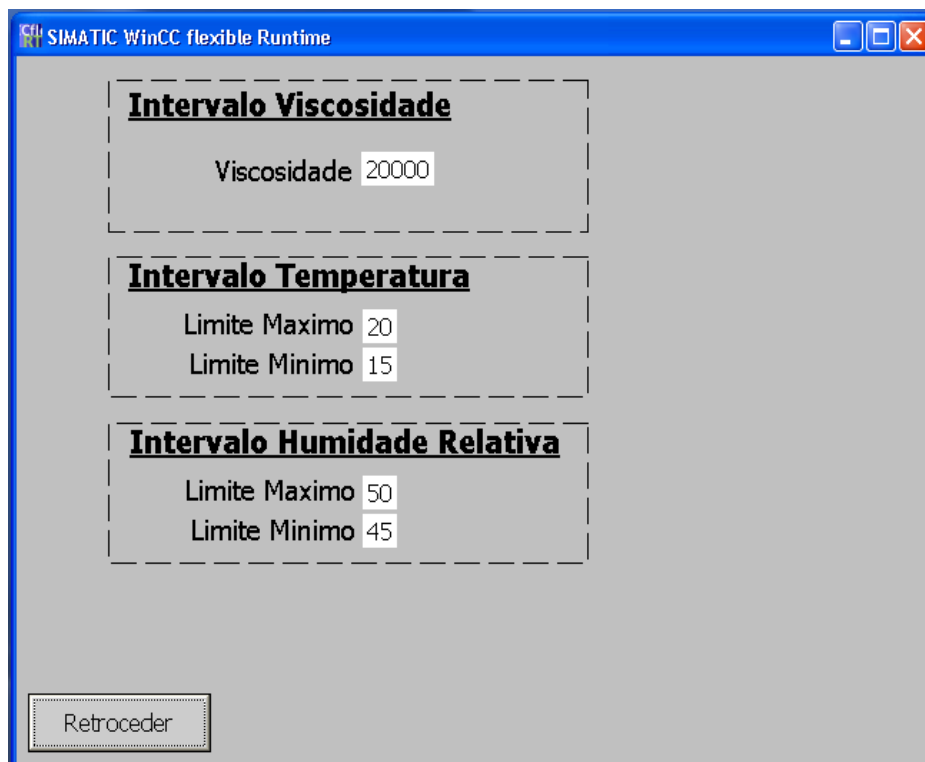
Figura 37 **Interface gráfica de controlo dos dados do processo**

A activação do sistema em modo Manual, através do botão “Manual”, e a activação do botão “Manual iniciar”, activa a interface gráfica que dá suporte à manutenção, ou seja, permite a activação manual dos actuadores. A Figura 38 mostra a interface gráfica de controlo dos actuadores em modo manual.
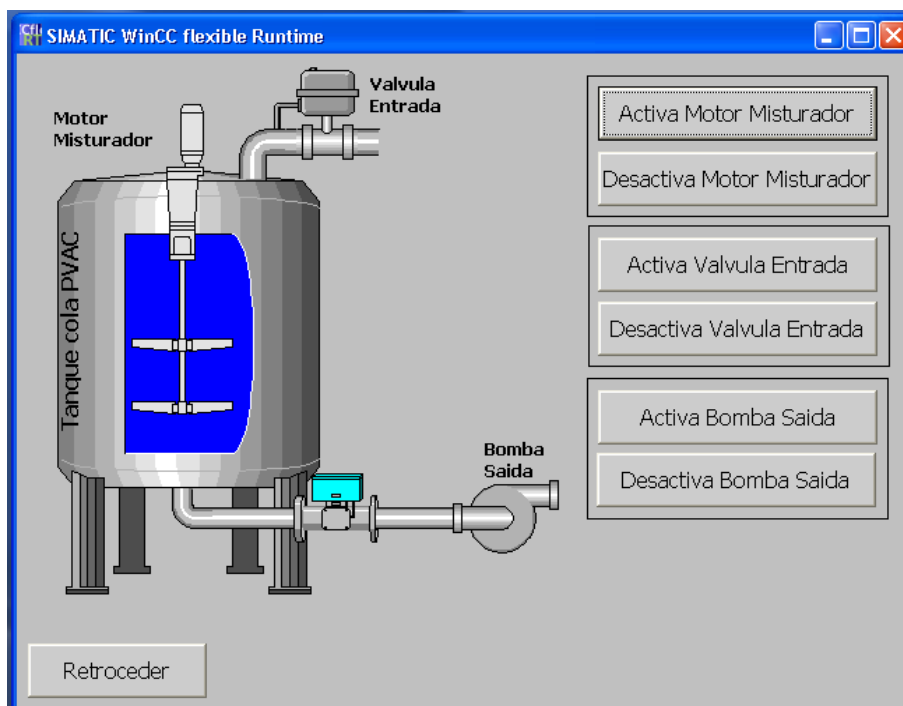
Figura 38 **Interface gráfica de controlo dos actuadores em modo manual**

Ao activar o botão "Alarmes" são apresentados aos elementos de operação todos os erros e avisos que ocorram no sistema durante o modo manual ou o modo automático. A título de exemplo, indicam-se seguidamente alguns alarmes possíveis:

- Alarme 001 – Paragem de emergência;
- Alarme 002 – Limite mínimo de cola na cuba;
- Alarme 003 – Viscosidade acima do limite máximo;
- Alarme 004 – Viscosidade abaixo do limite mínimo;
- Alarme 005 – Motor misturador em modo manual;
- Alarme 006 – Válvula de entrada em modo manual;
- Alarme 007 – Bomba de saída em modo manual;
- Alarme 008 – Temperatura acima do limite máximo;
- Alarme 009 – Temperatura abaixo do limite mínimo;
- Alarme 010 – Humidade relativa acima do limite máximo;
- Alarme 011 – Humidade relativa abaixo do limite mínimo.

A Figura 39 apresenta a interface gráfica que permite a visualização dos alarmes do sistema.
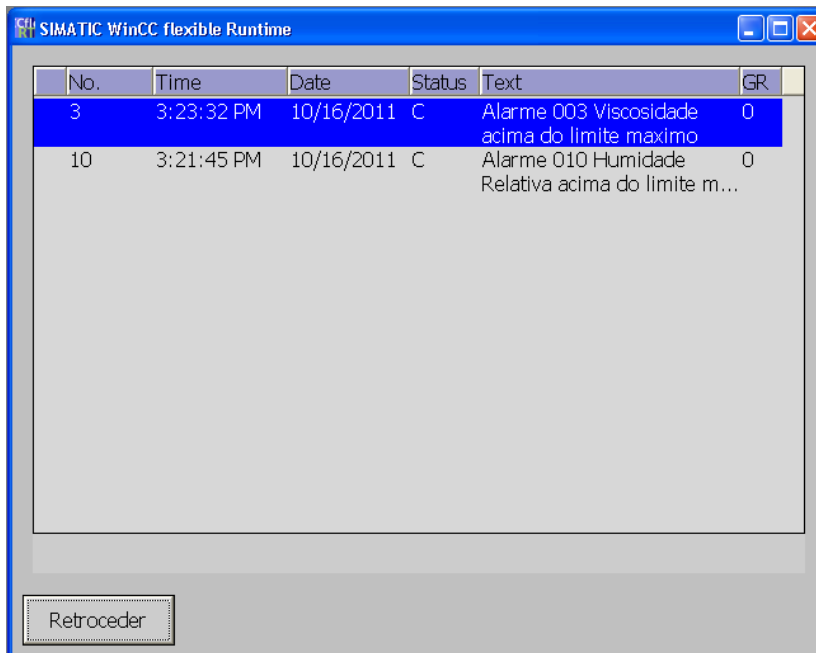
Figura 39 **Interface gráfica que permite a visualização dos alarmes**

Como foi referido no início deste capítulo, não foi possível a implementação física do sistema SCADA na sala de colas, nem a ligação física entre os diversos sensores e actuadores ao controlador. Para que o sistema SCADA fosse apresentado a funcionar, foi criada uma interface gráfica de simulação de dados de modo a ser possível introduzir os dados necessários para que o sistema funcione de acordo com os requisitos estipulados. A Figura 40 mostra a interface gráfica que permite a simulação do sistema.
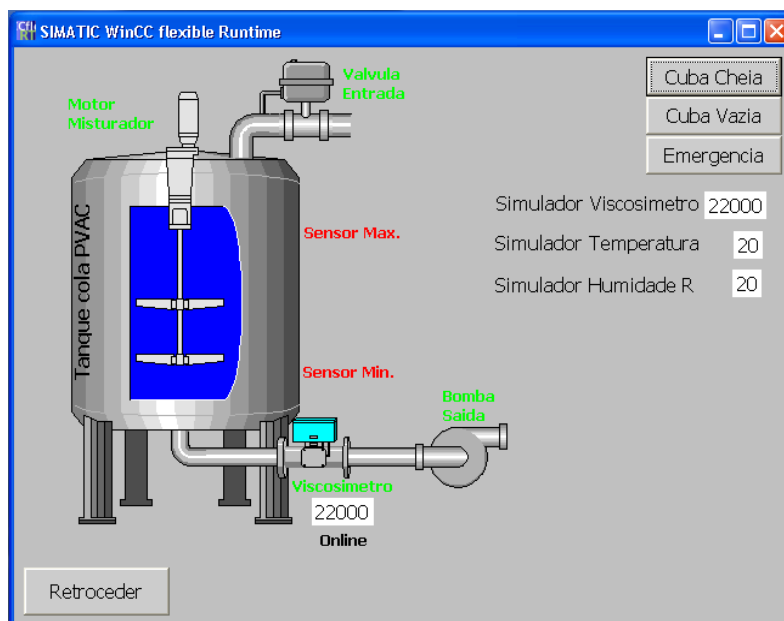
Figura 40 **Interface gráfica que permite a simulação do sistema**

5.2. VARIÁVEIS DO SISTEMA DESENVOLVIDO

Na Tabela 2 listam-se as variáveis principais utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, que interligam o hardware e o software.

Tabela 2 Variáveis – Programação/HMI

Variáveis - Programação/HMI			
Internas	**Endereço**	**Tipos dados**	**Designação**
Alarme001	M 7.0	BOOL	Paragem de emergência
Alarme002	M 7.1	BOOL	Limite mínimo de cola na cuba
Alarme003	M 7.2	BOOL	Viscosidade acima do limite máximo
Alarme004	M 7.3	BOOL	Viscosidade abaixo do limite mínimo
Alarme005	M 7.4	BOOL	Motor misturador em modo manual
Alarme006	M 7.5	BOOL	Válvula entrada em modo manual
Alarme007	M 7.6	BOOL	Bomba saída em modo manual
Alarme008	M 7.7	BOOL	Temperatura acima do limite máximo
Alarme009	M 8.0	BOOL	Temperatura abaixo do limite mínimo
Alarme01	MW 6	WORD	Alarmes HMI
Alarme010	M 8.1	BOOL	Humidade Relativa acima do limite máximo
Alarme011	M 8.2	BOOL	Himidade Relativa abaixo do limite mínimo
Alarme02	MW 7	WORD	Alarmes HMI
ARCond	M 8.3	BOOL	Ar condicional
auto	M 6.7	BOOL	Automático
AutoManual	FC 4	FC 4	Função passagem Automático/Manual
Bomb_saida	Q 4.1	BOOL	Bomba saída
COMPLETE RESTART	OB 100	OB 100	Complete Restart
Ctemphum	FC 5	FC 5	Controlo temperatura e humidade relativa
Cvisc	FC 6	FC 6	Controlo viscosidade
Cycle Execution	OB 1	OB 1	Bloco de organização
emerg	I 0.3	BOOL	Botão de emergência
Etapa0	M 0.0	BOOL	Etapa 0
Etapa1	M 0.1	BOOL	Etapa 1
Etapa2	M 0.2	BOOL	Etapa 2
Etapa3	M 0.3	BOOL	Etapa 3
Etapa4	M 0.4	BOOL	Etapa 4
Etapa5	M 0.5	BOOL	Etapa 5
Etapa6	M 0.6	BOOL	Etapa 6
FC - Geral	FC 3	FC 3	Função geral
Frist scan	M 1.2	BOOL	Primeiro scan
HMI:A_Bomb_saida	M 6.1	BOOL	Activa bomba saída
HMI:A_Mt_mix	M 5.4	BOOL	Activa manualmente motor misturador
HMI:A_Valv_entrada	M 6.0	BOOL	Activa manualmente a valvula entrada
HMI:auto	M 4.1	BOOL	Botão automático HMI
HMI:auto_parar	M 4.3	BOOL	Botão parar automático HMI
HMI:D_Bomb_saida	M 6.4	BOOL	Desactiva bomba saída
HMI:D_Mt_mix	M 6.2	BOOL	Desactiva motor misturador
HMI:D_Valv_entrada	M 6.3	BOOL	Desactiva válvula entrada
HMI:emerg	M 5.3	BOOL	Simulador botão de emergência
HMI:iniciar_auto	M 4.0	BOOL	Botão iniciar automático HMI
HMI:man	M 4.2	BOOL	Botão manual HMI
HMI:man_man	M 4.5	BOOL	Manual
HMI:sensor_máx	M 5.1	BOOL	Cuba cheia
HMI:sensor_min	M 5.2	BOOL	Cuba vazia
Inic	M 1.3	BOOL	INIC
inic1	M 1.4	BOOL	INIC1
manual	M 6.6	BOOL	Manual
MManual	FC 2	FC 2	Modo manual
Mt_mix	Q 4.0	BOOL	Motor misturador
Ncola	FC 1	FC 1	Nível de cola
One	M 1.1	BOOL	Sempre a One
sensor_max	I 0.0	BOOL	Sensor nível cola PVAC máximo
sensor_min	I 0.1	BOOL	Sensor nível cola PVAC mínimo
sensor_visc	I 0.2	BOOL	Sensor leitura viscosidade
Temp60	T 10	TIMER	Temporizador
Valv_entrada	Q 4.2	BOOL	Válvula entrada
visc	M 4.4	BOOL	Dados viscosidade após comparação
Zero	M 1.0	BOOL	Sempre a Zero

5.3. FLUXOGRAMA E GRAFCET DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE COLA PVAC EM MODO AUTOMÁTICO

O modo automático do sistema de armazenamento de cola PVAC é constituído por várias etapas, por sua vez sequenciadas de modo a iniciar sempre um novo ciclo. Na Figura 41 pode-se visualizar o fluxograma correspondente ao funcionamento do sistema de armazenamento de cola PVAC.
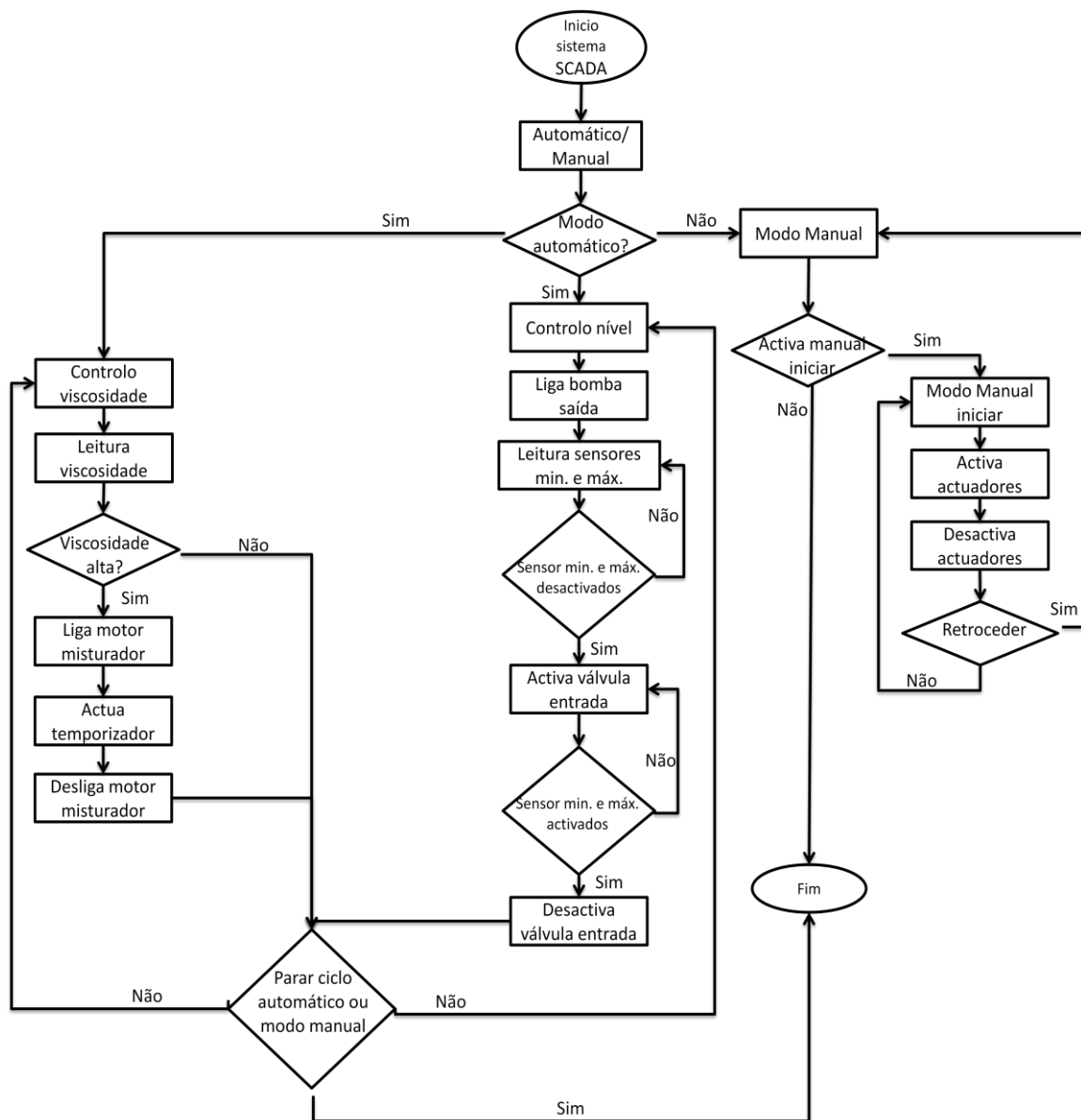
Figura 41 **Fluxograma correspondente ao funcionamento do sistema**

Ao iniciar o sistema em modo automático este vai dividir-se em duas funções:

- Controlo de nível;
- Controlo de viscosidade.

Na Figura 42 encontra-se o Grafcet que descreve o funcionamento do controlo de nível do sistema de armazenamento de cola PVAC.
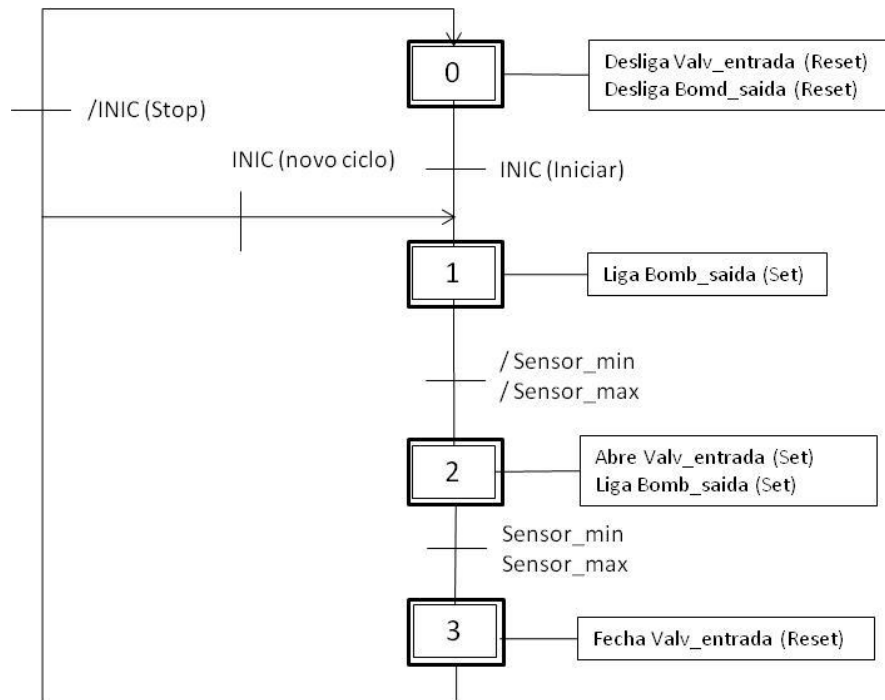
Figura 42 **Grafcet do controlo de nível**

Ao iniciar a função de controlo de nível é activada a etapa 1, que no caso é a etapa inicial. A variável "INIC" é activada através do botão "Aut. Iniciar" da interface gráfica principal do sistema. Na etapa 1 é activada a bomba pneumática de saída.

É verificado o nível da cola PVAC na cuba através do sensor mínimo e máximo; se os sensores de mínimo e máximo não detectarem cola (estão desactivados), o automatismo avança para etapa 2, e vai activar a válvula de entrada, de modo a abastecer a cuba novamente e continuar a alimentar a linha de montagem através da bomba de saída. Quando os sensores de máximo e mínimo voltarem a estar activados, a válvula de entrada desactiva-se através da etapa 3.

Se não houver ordem de paragem (informação dada pelo estado lógico da variável "INIC"), o automatismo evolui para a etapa 1, dando início a um novo ciclo de funcionamento. Se houver ordem de paragem através dos botões do menu principal da interface gráfica principal, ou uma paragem de emergência (/INIC), o automatismo evolui para a etapa 0, que por sua vez, desactiva a válvula de entrada e a bomba pneumática de saída.

Na Figura 43 encontra-se o Grafcet que descreve o funcionamento do controlo de viscosidade do sistema de armazenamento de cola PVAC.
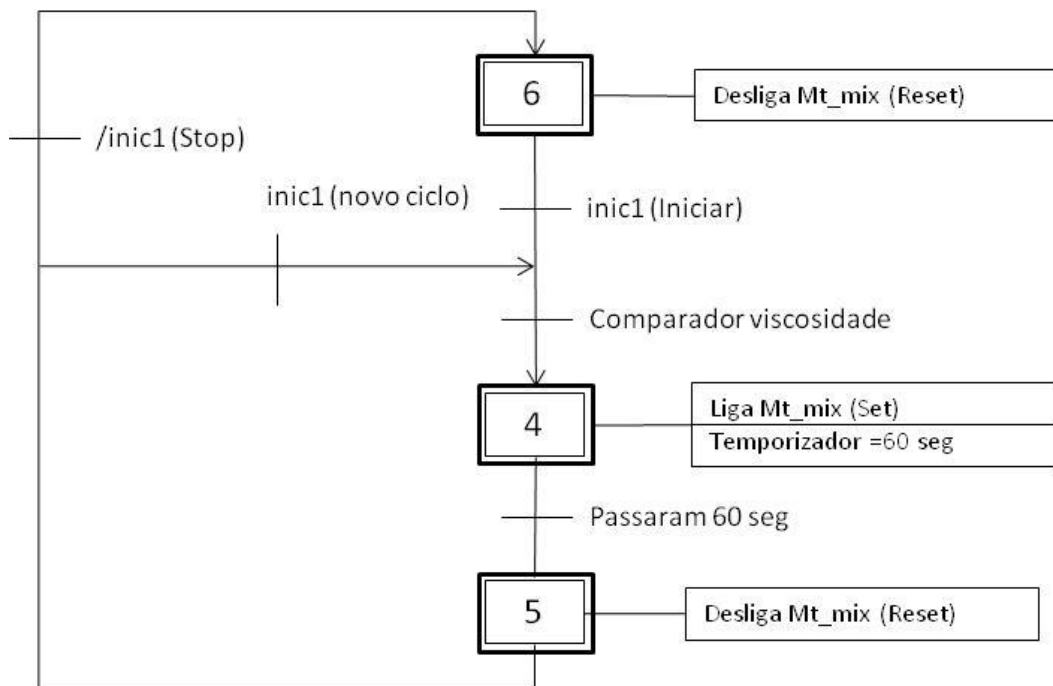
Figura 43 **Grafcet do controlo de viscosidade**

Ao iniciar a função de controlo de viscosidade é activada a etapa 6, que no caso é a etapa inicial. A variável “inic1” é activada através do botão “Aut. Iniciar” da interface gráfica principal do sistema.

Na etapa 4, após as comparações entre os valores definidos no processo e os valores obtidos através do viscosímetro o motor misturador é activado/desactivado. Se o valor do viscosímetro for superior aos do processo é activada uma variável “Comparador viscosidade” e inicia-se a etapa 4. É também iniciada uma temporização, com o valor de 60 segundos. No final desta temporização, o automatismo evolui para a etapa 5, que desliga o motor misturador.

Se não houver ordem de paragem, a informação dada pelo estado lógico da variável “inic1”, o automatismo evolui para a etapa 4, dando início a um novo ciclo de funcionamento. Se houver ordem de paragem através dos botões do menu principal da interface, ou uma paragem de emergência (/inic1), o automatismo evolui para a etapa 6, que por sua vez desactiva o motor misturador.

5.4. PROGRAMAÇÃO STEP7

Após a descrição do funcionamento do modo automático do sistema de armazenamento de cola PVAC, através dos Grafcets representados nas Figura 42 e Figura 43, cada uma das figuras abaixo mostra as ligações de todas as etapas de cada função de controlo através da programação.

Na Figura 44 pode-se visualizar o início do sistema de controlo de nível de cola PVAC na cuba, onde é activada a etapa inicial e a variável "INIC".
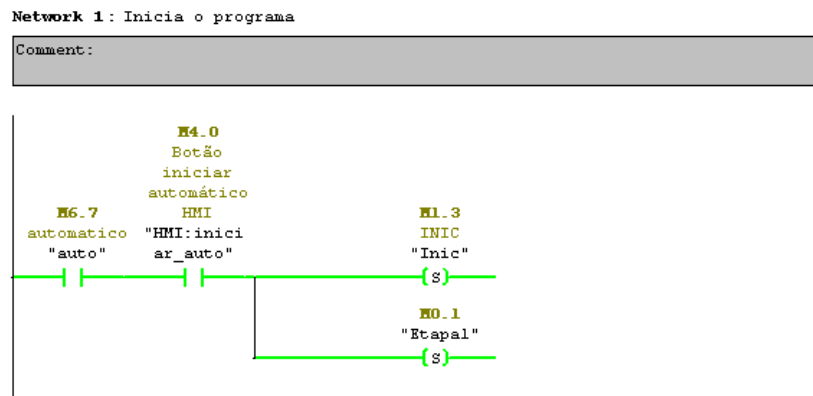
Figura 44 **Início do sistema de controlo de nível de cola na cuba**

Dando início à etapa inicial, na Figura 45 pode-se visualizar a activação da bomba pneumática de saída.
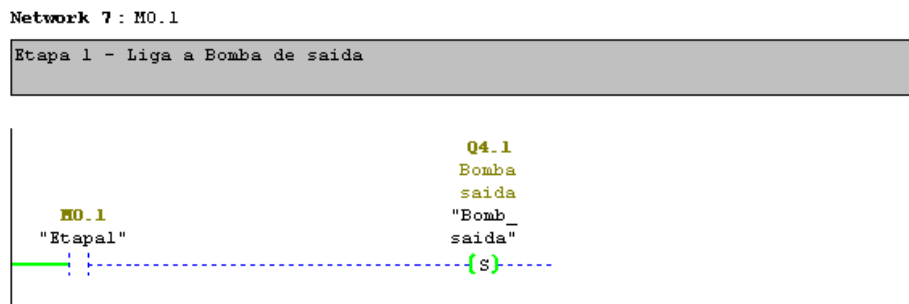
Figura 45 **Activação da bomba de saída**

Na Figura 46 pode-se visualizar a interligação das etapas 0 e 3 com a etapa 1, através da variável "INIC", de modo a que o automatismo inicie um novo ciclo de funcionamento.
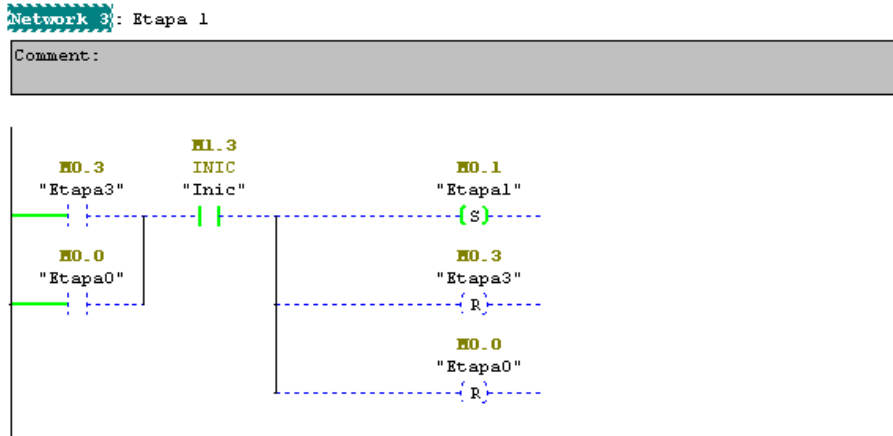
Figura 46 **Início do novo ciclo de funcionamento**

O avanço para a etapa 2 é feita quando os sensores de nível mínimo e máximo não detectam cola PVAC na cuba e a etapa 1 está activada. Nesta situação é também gerado um alarme ("Limite mínimo de cola na cuba"). Na Figura 47 pode-se visualizar o avanço para a etapa 2.
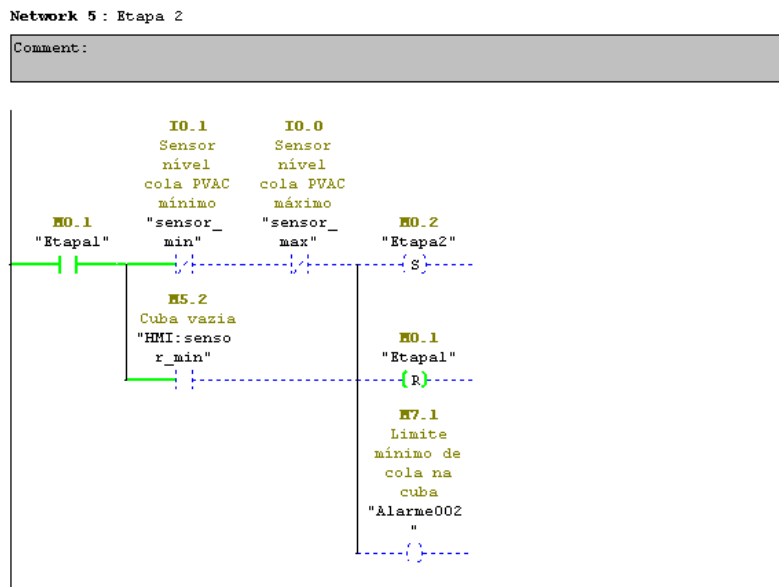
Figura 47 **Avanço para a etapa 2**

Na Figura 48 apresenta-se a activação da válvula de entrada e da bomba de saída, após o avanço para a etapa 2.
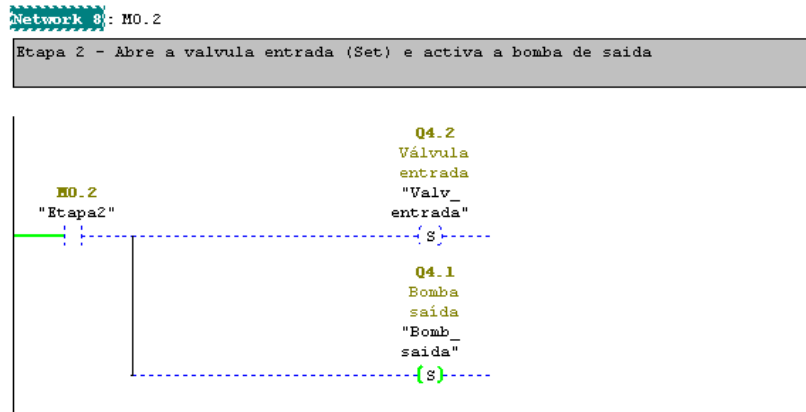
Figura 48 **Activação da válvula de entrada e da bomba de saída**

Quando os sensores de nível mínimo e máximo voltarem a estar activados, é activada a etapa 3. A Figura 49 mostra esta situação.
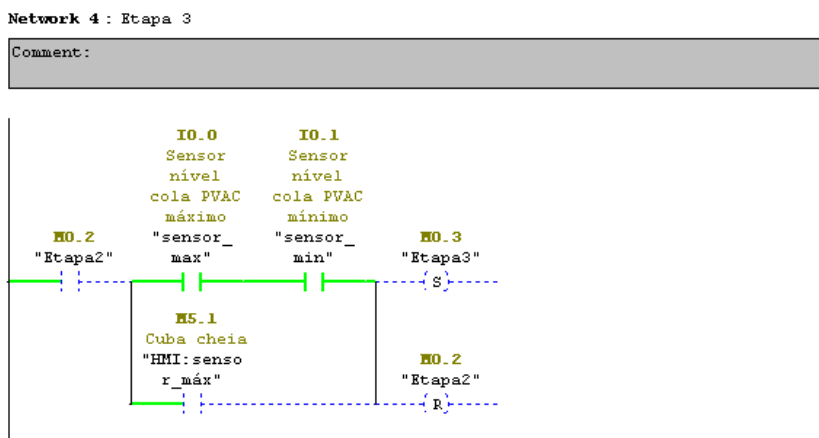
Figura 49 **Activação da etapa 3**

Na Figura 50 pode-se visualizar a desactivação da válvula de entrada através da etapa 3.
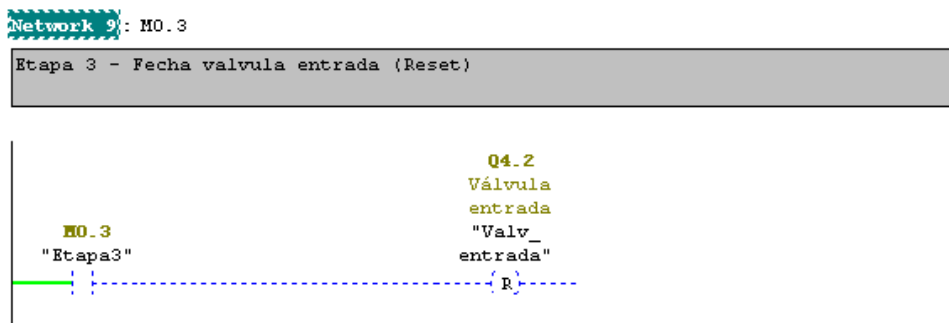
Figura 50 **Desactivação da válvula de entrada**

A paragem do sistema e a correspondente evolução para a etapa 0 pode ser feita através dos botões do menu principal, passagem para o modo manual ou através de uma paragem de emergência. Na Figura 51 apresenta-se a programação correspondente à paragem do sistema automático.
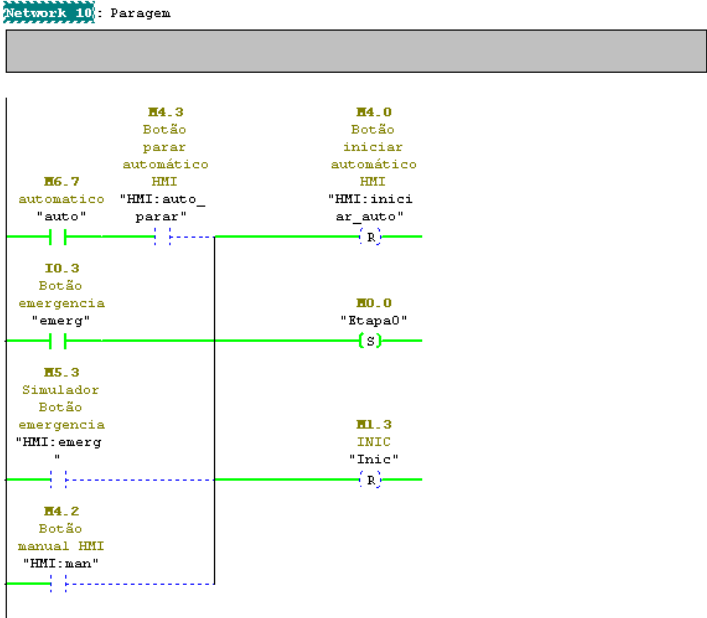
Figura 51 **Paragem do sistema automático**

Na Figura 52 mostra-se a activação da etapa 0 e na Figura 53 pode-se visualizar a paragem de todos os actuadores através da activação desta etapa.
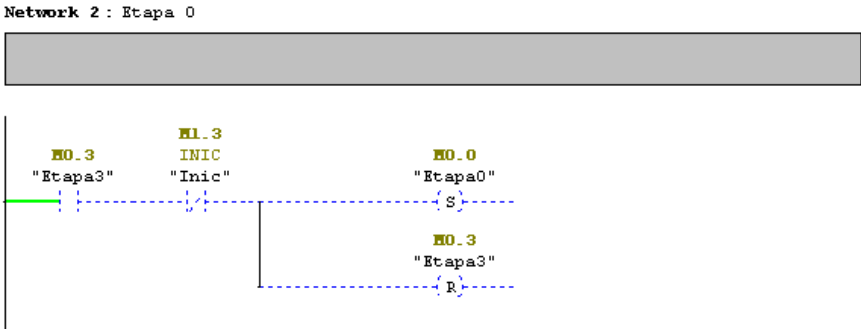
Figura 52 **Activação da etapa 0**
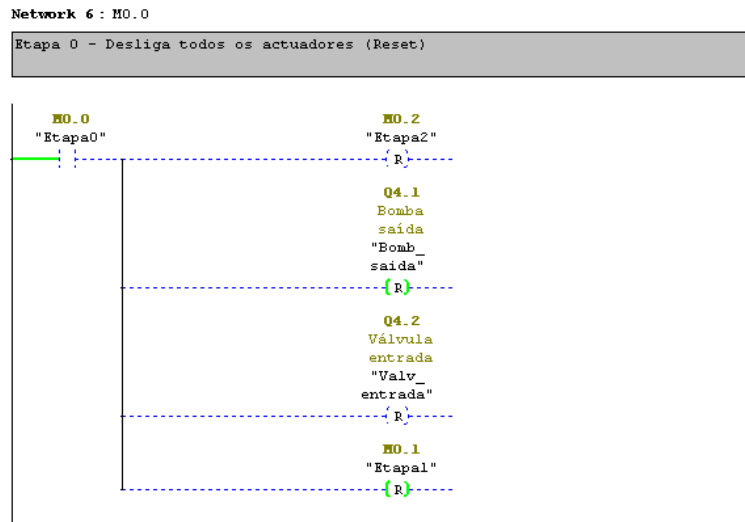
Figura 53 **Paragem de todos os actuadores**

De seguida passa-se a apresentar a implementação da programação correspondente ao controlo de viscosidade da cola PVAC na cuba. Na Figura 54 pode-se visualizar o início do sistema de controlo de viscosidade, onde é activada a variável "inic1".
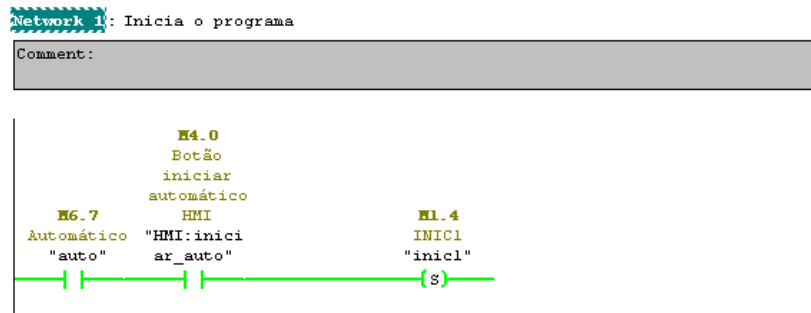
Figura 54 **Início do sistema de controlo de viscosidade da cola PVAC na cuba**

Após a comparação entre a viscosidade definida nos dados do processo e a viscosidade medida *online* através do viscosímetro, é activada a variável "Dados viscosidade após comparação", como se pode ver na Figura 55. Se os dados medidos forem maiores que os dados definidos, é então iniciada a etapa 4 que nos vai permitir activar o motor misturador de modo a baixar a viscosidade.
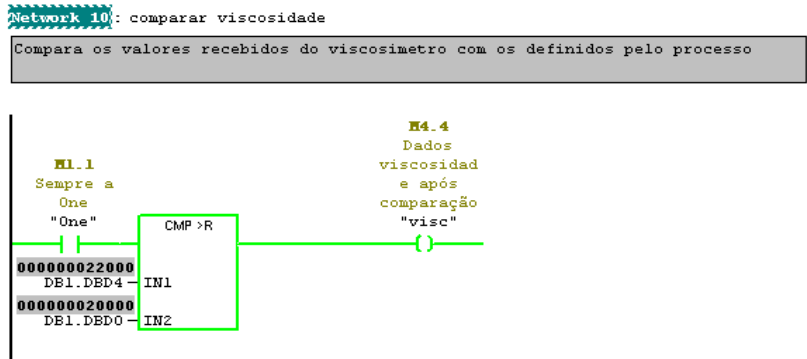
Figura 55 **Comparação entre os dados de viscosidade**

A Figura 56 mostra a activação da etapa 4 e a activação do motor misturador nesta etapa 4.
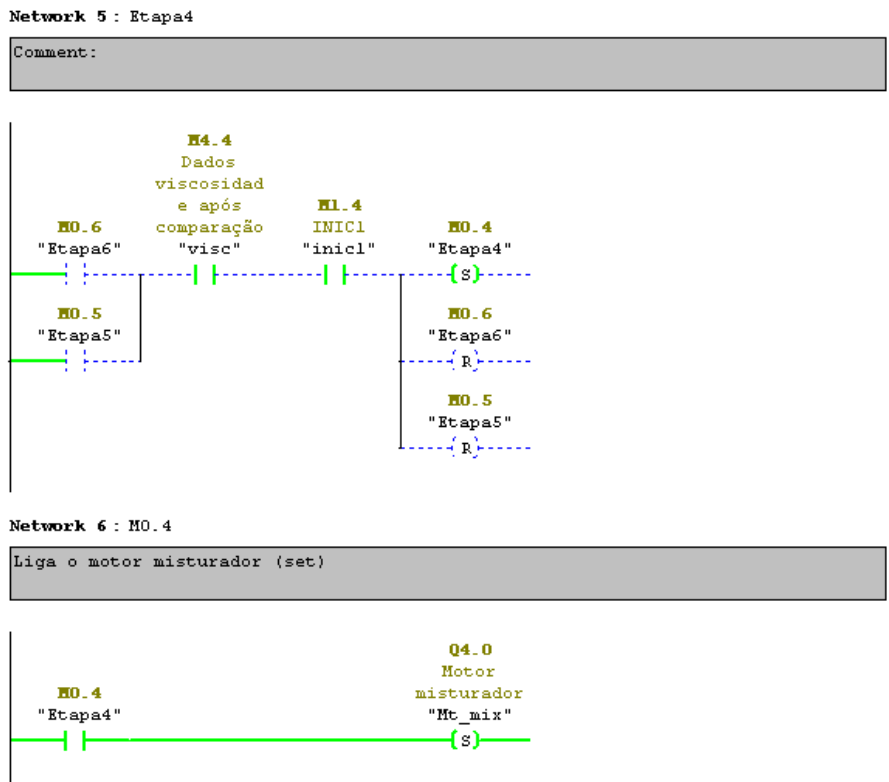
Figura 56 **Activação da etapa 4 e activação do motor misturador nesta etapa 4**

Passados 60 segundos após iniciada a etapa 4, o automatismo evolui para a etapa 5. Na Figura 57 pode-se visualizar o temporizador de 60 segundos que permite ao motor misturador estar activado para baixar a viscosidade.

Network 7 : Temporizador 60s

Conta 60 segundos até o misturador voltar a parar

T10
Temporizad
or
"Temp60"
M0.4
"Etapa4"
S_ODT
S
Q
M1.1
Sempre a
One
"One"
R
S5T#1m
S5T#1M
TV
BI
S5T#32s100ms
R
BCD
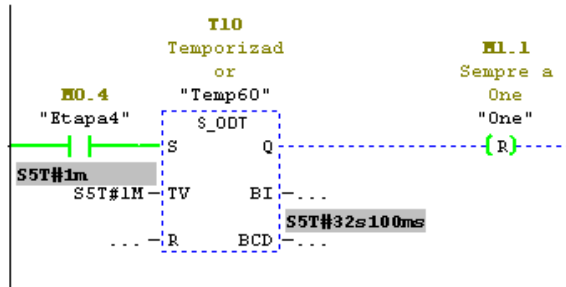
Figura 57 **Temporização de 60 segundos**

Na Figura 58 pode-se visualizar a activação da etapa 5. Durante a execução da etapa 5 é desactivado o motor misturador, como se pode observar nesta figura.
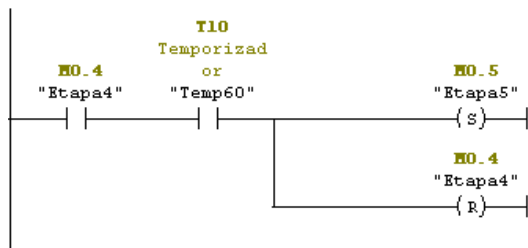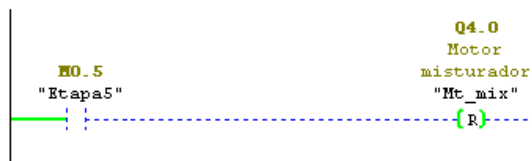
Figura 58 **Activação da etapa 5 e desactivação do motor misturador**

A paragem do sistema e a correspondente evolução para a etapa 6 pode ser feita através dos botões do menu principal, passagem para o modo manual ou através de uma paragem de emergência. Na Figura 59 mostra-se a paragem do sistema automático através da função de controlo de viscosidade de cola PVAC.
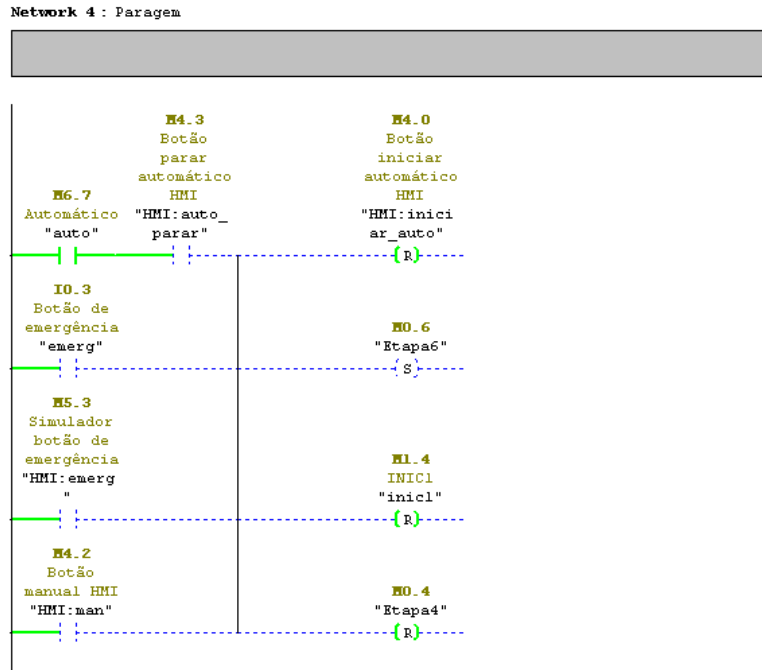
Figura 59 **Paragem do sistema automático através da função de controlo de viscosidade**

Por último, na Figura 60 pode-se visualizar a activação da etapa 6 que desactiva o motor misturador.
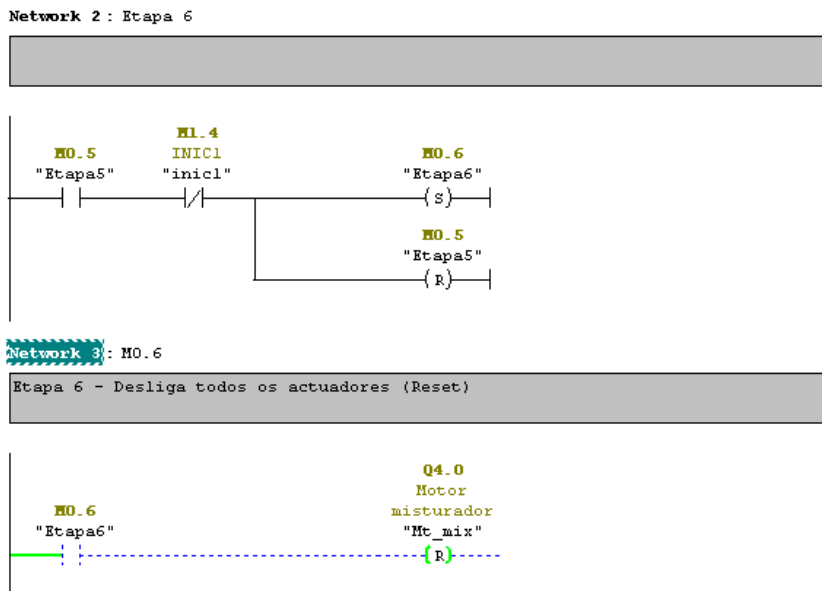
Figura 60 **Activação da etapa 6 e paragem do motor misturador**

Após representado (nas figuras acima) o funcionamento do modo automático do sistema de armazenamento de cola, através dos Grafcets das funções de controlo de nível e de

viscosidade da cola PVAC, no Anexo B encontra-se um CD com todo o trabalho desenvolvido, a nível de programação e a nível de interfaces gráficas do sistema SCADA.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com a evolução da tecnologia, os computadores passaram a ter um papel importante nos sistemas de supervisão e recolha de dados do processo, de modo a garantir a integridade das informações. Neste aspecto, o uso dos computadores permitiu a diminuição de uma grande parte os custos, complexidades e riscos nas tarefas dos processos de produção.

Neste trabalho foi realizado o estudo e a implementação de um sistema SCADA capaz de controlar a temperatura e a humidade relativa, o controlo de viscosidade em tempo real e o controlo do nível da cola numa cuba de armazenamento. Isto permite apenas uma supervisão da sala de colas por parte dos elementos de operação no posto de trabalho e um controlo de qualidade das matérias-primas utilizadas na construção do semi-produto em tempo real, ou seja, vai permitir diminuir a complexidade na recolha atempada de amostras por parte dos elementos de operação e, ao mesmo tempo, diminuir o atraso na entrega de resultados das amostras por parte do laboratório.

A realização deste trabalho foi de extrema importância, uma vez que foi necessário o estudo de diversos softwares da linha SIMATIC que são utilizados para o desenvolvimento de sistemas de supervisão e controlo que actualmente se podem ver aplicados na indústria.

Foram encontrados diversos obstáculos, uma vez que os softwares aplicados para o desenvolvimento do trabalho (Step7 e SIMATIC WinCC flexible), não são do fórum académico, o que levou a um estudo mais alargado e prolongado no tempo. Uma vez que este software é aplicado no meio profissional, torna-se uma grande vantagem. O desenvolvimento da programação, das interfaces gráficas e a associação entre os dois, foi um verdadeiro desafio neste trabalho.

A apresentação do trabalho desenvolvido só pode ser feita através de simuladores, visto que todo o material descrito no Capítulo 4 não pode ser comprado devido ao seu custo elevado.

Neste trabalho desenvolvido e descrito nesta Tese/Dissertação existem também melhorias evidentes a implementar no futuro, tais como o acréscimo de gráficos de tendências de horas de trabalho, consumos e, por último, a gestão do tempo para a realização da manutenção preventiva dos actuadores.

A realização deste trabalho veio dar uma nova motivação e interesse por este tipo de sistemas, bem como a oportunidade de alargar o conhecimento e o interesse pela área.

Finalizando, os sistemas de supervisão revelam-se de grande importância na estrutura de gestão dos processos industriais, pois permitem observar remotamente as condições do sistema, facilitando o controlo das variáveis de operação e disponibilizando em tempo real o estado da rede através de um conjunto adequado de ferramentas.

Referências Documentais

[1] PIRES, Paulo; OLIVEIRA, Luiz; BARROS, Diogo – *Aspectos de segurança em sistemas scada*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004.

[2] HADDAD, Rafael – *Desenvolvimento de sistemas de supervisão*, Universidade Estadual de Londrina, 2006.

[3] PINHEIRO, José – *Introdução às redes de Supervisão e Controlo*, Projecto de redes, 2006

[4] Controlo Industrial – *Introdução ao estudo dos PLC's*, http://www.demnet.ubi.pt/~felippe/texts/contr_ind_cap3.pdf

[5] WIKIPÉDIA - *Controlador lógico programável*, http://pt.wikipedia.org/wiki/Controlador_lógico_programável

[6] IDC Engineering Pocket Guide – *INDUSTRIAL AUTOMATION*, Volume 6

[7] Tutorial Device Net
http://www.smar.com/brasil2/devicenet.asp

[8] WIKIPÉDIA – *Modbus*, http://pt.wikipedia.org/wiki/Modbus#Modbus_RTU

[9] SOUZA, Victor - *O Protocolo Modbus*, Cerne Desenvolvimento para o conhecimento

[10] Schneider Electric - *Documento Técnico Redes de Comunicação Industrial*, 2007

[11] MARQUES, Bruno – *O Protocolo Profibus*, 2009

[12] http://www.smar.com/brasil2/profibus.asp

[13] http://www.tecnilab.pt/pdf/Informacao_Tecnica_DNP3.pdf

[14] NATIONAL COMMUNICATIONS SYSTEM- *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Systems*, 2004

[15] www.dnp.org

[16] www.opcfoundation.org

[17] SANTOS, Hugo – *Desenvolvimento de um supervisório*, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007

[18] http://www.automacoes.com/search/label/Sensores

[19] JUNIOR, José – *Sensores e actuadores*, Escola de Engenharia de Piracicaba, 2007

[20] GRAÇA, Jorge - *Automação industrial*, Universidade de Coimbra, 2005/2006

[21] http://www.profibus.org.br/news/abril2007/news.php?dentro=2

[22] http://www.tecnodrive.com.br/AS%20INTERFACE.pdf

[23] http://www.ge-ip.com/pt/ifix_value

[24] https://www.swe.siemens.com/PORTUGAL/WEB_NWA/PT/PORTALINTERNET/QUEMSOMOS/NEGOCIOS/INDUSTRY/IA_DT/AUTOMATIONSYSTEMS/Pages/SimaticScada.aspx

[25] http://global.wonderware.com/BR/Pages/WonderwareHMISCADA.aspx

[26] http://industrial.omron.pt/pt/products/catalogue/automation_systems/software/runtime/cx-supervisor/default.html

[27] http://www.citect.com/

[28] http://www.smar.com/newsletter/marketing/index150.html

[29] http://omron-plc.com/2010/10/19/ole-process-controlopc-automation-system/

Anexo A. Sensores

Os sensores utilizados num determinado processo para fazer a medição ou a detecção de uma variável devem ser especificados de acordo com um conjunto de parâmetros. A seguir são apresentados alguns desses parâmetros:

- **Linearidade:** É a proporcionalidade entre a grandeza física medida e o sinal eléctrico emitido pelo sensor. Quanto maior for esta proporcionalidade, maior será a precisão e a fidelidade das medições;
- **Faixa de actuação:** É o intervalo de valores da grandeza medida em que o sensor pode ser utilizado sem que ocorra a sua destruição ou perda da sua linearidade;
- **Histerese (sensores digitais):** Nos sensores digitais, tais como os de proximidade, a histerese é definida como a distância entre os pontos de comutação de um sensor, quando o objecto a detectar se aproxima ou afasta dele;
- **Sensibilidade:** É a menor variação na variável medida ou monitorada que provoca a mudança do estado ou alteração no sinal eléctrico produzido pelo sensor;
- **Frequência de comutação:** É a quantidade máxima de mudanças de estado num determinado intervalo de tempo; só é aplicável a sensores digitais;
- **Distância de aproximação do sensor:** É a distância em que, aproximando-se um determinado objecto ao sensor, este muda de estado. É aplicável somente a sensores digitais.

Na Figura 61 pode-se visualizar um exemplo de um sensor de temperatura, para melhor compreensão de alguns dos parâmetros acima abordados.
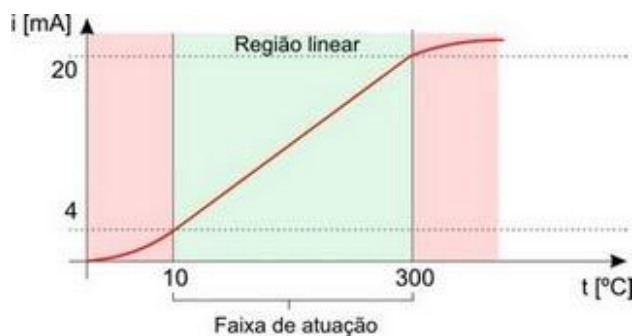
Figura 61 **Exemplo de alguns parâmetros de um sensor de temperatura**

Nos tópicos em baixo são apresentados alguns sensores digitais (características e aplicações), que foram projectados para detectar a presença (ou ausência) de determinados objectos, indicando na saída o valor 0 ou 1.

Sensores de fim-de-curso ou de limite

Os sensores de fim-de-curso, também conhecidas como sensores de limite, são dispositivos electromecânicos utilizados para detectar a passagem ou a posição de objectos, através do contacto mecânico da haste do sensor com o objecto (ou dispositivo mecânico auxiliar). Esta haste acciona mecanicamente um contacto eléctrico, que pode ser utilizado num circuito de controlo.

Na Figura 62 pode-se visualizar uma vasta gama de sensores de fim de curso.

Figura 62 **Sensores de fim-de-curso**

Este dispositivo possui uma construção muito simples, uma vez que pode trabalhar com um contacto NA (Normalmente Aberto, ou seja, 0 = Não Actua e 1 = Actua), ou NF (Normalmente Fechado, ou seja, 0 = Actua e 1 = Não Actua). Dependendo do sensor a utilizar, pode haver uma combinação de vários contactos NA ou NF [18].

Sensores indutivos

Os sensores indutivos, podem ser aplicados como detectores de presença, proximidade ou de passagem de objectos. São emissores de sinal que detectam, sem contacto directo, materiais que apresentam características magnéticas como imãns e materiais ferro-magnéticos quando estes estiverem a uma determinada distância.

O princípio de funcionamento baseia-se na geração de um campo electromagnético de alta frequência, que é criado por uma bobina ressonante instalada no sensor. Na Figura 63 pode-se visualizar o funcionamento de um sensor indutivo.

Figura 63 **Funcionamento de um sensor indutivo**

A bobina faz parte de um circuito oscilador que, em condições normais (não activo), gera um campo electromagnético. Quando um metal se aproxima deste campo, este através de correntes de Foulcault absorve a energia do campo, diminuindo a amplitude do sinal gerado no oscilador. A variação da amplitude deste sinal é convertida numa variação contínua que, comparada com um valor padrão, passa a actuar como estado de saída.

Na Figura 64 é apresentado um diagrama simplificado do circuito interno de um sensor indutivo.
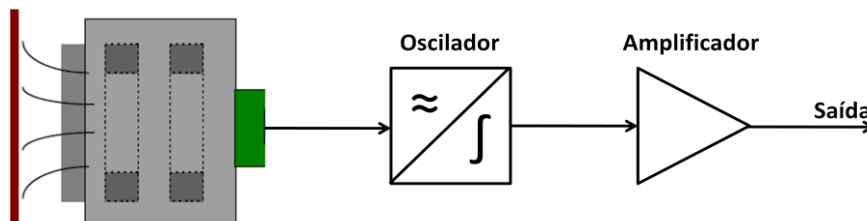
Figura 64 **Diagrama interno de um sensor indutivo**

As principais diferenças entre os sensores indutivos e os sensores de fim-de-curso são:

- Como se trata de um sensor de proximidade, não há necessidade de contacto físico com a parte em movimento; isto contribui para o aumento significativo da vida útil do sensor;
- A velocidade de actuação é maior que a do sensor mecânico, uma vez que não há inércia na operações.

Nas Figura 65 pode-se visualizar alguns exemplos de aplicações com sensores indutivos, tais como, detecção de presença de latas e tampas e detecção de posicionamento de válvulas (totalmente aberto ou fechado) [18, 19].

Figura 65 **Exemplos de aplicações com sensores indutivos**

Sensores capacitivos

Os sensores capacitivos, tal como os sensores indutivos, são capazes de detectar a aproximação de objectos sem a necessidade de contacto físico. O seu princípio de funcionamento baseia-se num campo electrostático que é criado na área de detecção. Quando um objecto passa por essa área de detecção, o seu valor de capacitância é alterado, originando uma oscilação, e criando assim um sinal de saída.

Os sensores de proximidade capacitivos são amplamente utilizados para detecção de materiais que apresentam condutividade dieléctrica, podendo estar em estado sólido, líquido ou em pó e materiais orgânicos como madeira, papel e derivados de plásticos.

Para que se possa entender melhor o seu princípio de funcionamento, um sensor ou transdutor capacitivo é um condensador que exibe uma variação do valor nominal da capacidade em função de uma grandeza não eléctrica. Na Figura 66 pode-se visualizar o princípio de funcionamento de um sensor capacitivo.
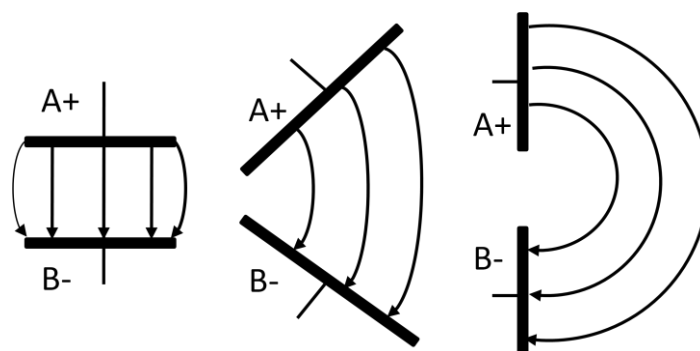
Figura 66 **Princípio de funcionamento de um sensor capacitivo**

É composto por duas placas metálicas, carregadas com cargas eléctricas opostas, montadas na face do sensor, de forma a projectar um campo eléctrico para fora do sensor, formando assim uma constante capacitiva que possui como dieléctrico o ar. Quando um material se aproxima do sensor, ou seja do campo eléctrico, o dieléctrico do meio altera-se. Como o oscilador do sensor é controlado pela placa frontal, quando se aproxima um material, o estado da capacitância também se altera, provocando assim uma mudança no circuito oscilador. Esta variação é convertida num sinal contínuo que, comparado com um valor padrão, passa a actuar no estado da saída [19].

Na Figura 67 pode-se visualizar alguns exemplos de aplicações com sensores capacitivos, tais como, detecção de leite num pacote e controlo de nível.

Figura 67 **Exemplos de aplicações com sensores capacitivos**

Sensores ópticos

Os sensores ópticos utilizam um feixe luminoso para detectar a presença ou passagem de objectos. O feixe emitido pode ser do tipo infravermelhos, laser ou ainda do tipo luz convencional (o que é pouco comum).

Os sensores ópticos reconhecem todos os objectos independentemente de sua natureza, quer sejam de metal, madeira ou plástico.

Os sensores ópticos possuem um princípio de funcionamento baseado num feixe luminoso, em geral um infravermelho, que pode ser polarizado (ou não). Este é gerado por um dispositivo emissor e captado por um dispositivo receptor. A presença do objecto no caminho do raio infravermelho possibilita (ou impede) a recepção deste por parte do receptor, dependendo assim do tipo de sensor. Assim, o controlador monitora se o objecto se encontra (ou não) presente no caminho da luz.

Para diferenciar a luz reflectida da luz ambiente, a luz emitida pelo sensor é modulada, ou seja, são impulsos de luz numa determinada frequência. Assim, a luz recebida passa por um filtro, de maneira que o sensor só será actuado se a luz recebida estiver na mesma faixa de frequência da luz emitida.

Os sensores ópticos dividem-se em três modos de operações:

- Modo difuso;
- Modo retro-reflectivo;
- Modo emissor-receptor.

No modo difuso, o emissor e o receptor são montados na mesma unidade, sendo que o accionamento da saída do sensor ocorre quando o objecto entra na região de sensibilidade e reflecte para o receptor o feixe de luz emitido pelo emissor. Os sensores ópticos difusos possuem um alcance menor em relação aos outros tipos de sensores ópticos (reflectivo e emissor-receptor). Na Figura 68 pode-se visualizar o modo de detecção do sensor óptico difuso.
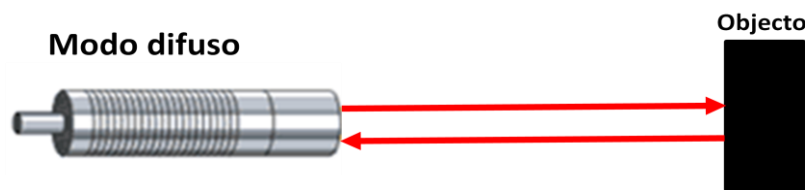
Figura 68 **Modo de detecção do sensor óptico difuso**

O sensor óptico reflectivo, também conhecido como retro-reflectivo, assim como o difuso, tem o emissor e o receptor montado na mesma unidade. O feixe de luz chega ao receptor após a incidência num espelho e o accionamento da saída do sensor ocorre quando o objecto interrompe o feixe. O alcance deste tipo de sensor pode chegar a algumas dezenas de metros, tendo em conta as características do ambiente (nuvens de poeira ou vapor), que podem influenciar o valor de alcance. Na Figura 69 pode-se visualizar o modo de detecção do sensor óptico retro-reflectivo.
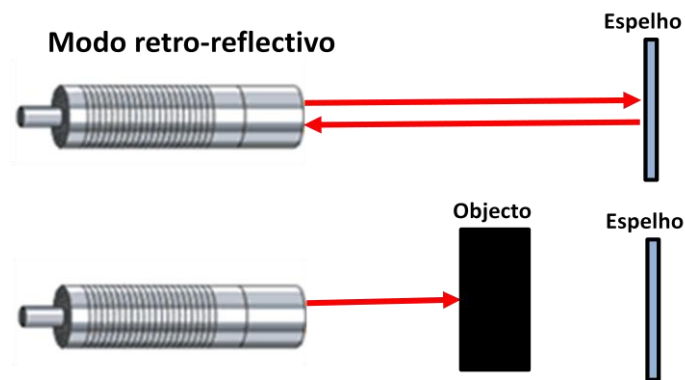
Figura 69 **Modo de detecção do sensor óptico retro-reflectivo**

O sensor óptico emissor-receptor, ao contrário dos dois anteriores, é montado em duas unidades distintas: uma emissora e outra receptora. Cada unidade fica de um lado da trajectória do objecto e, uma vez que este interrompa o feixe, o sensor é activado. Um exemplo de aplicação são as barreiras utilizadas em elevadores para impedir que a porta feche caso haja algum objecto (partes do corpo de um utilizador ou outros objectos) a interromper o feixe. Na Figura 70 pode-se visualizar o modo de detecção do sensor óptico emissor-receptor.
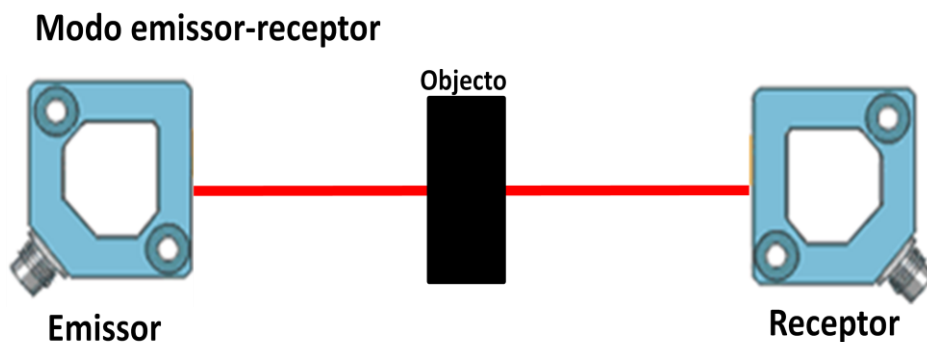
Figura 70 **Modo de detecção do sensor óptico emissor-receptor**

Na Figura 71 pode-se visualizar alguns exemplos de aplicações com sensores ópticos, tais como, medição de diâmetro, medição de altura, detecção de objectos, detecção de contraste e detecção de cores [18].
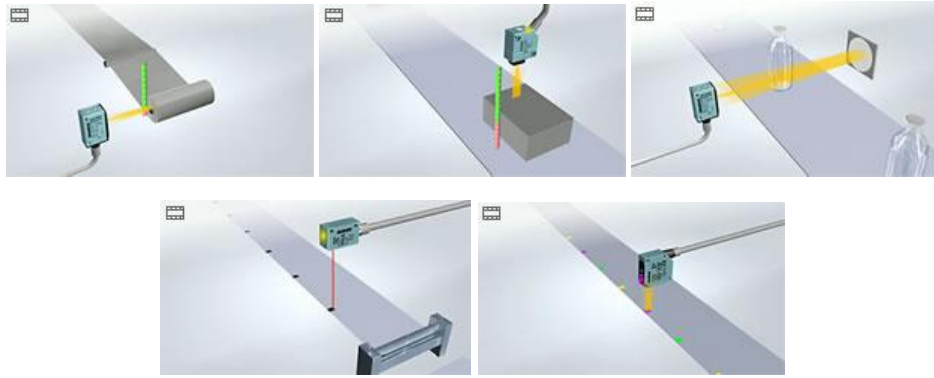
Figura 71 **Exemplos de aplicações com sensores ópticos**

Sensores ultra-sónicos

Os sensores ultra-sónicos podem ser usados como dispositivos de detecção sem contacto em muitas áreas da automação. Permitem detectar de forma precisa, flexível e fiável objectos de materiais, formas, cores e texturas diversos.

As possibilidades de aplicação são muito diversas, tais como:

- Detecção de nível e altura;
- Medida de separação;
- Detecção de objectos transparentes, independentes da cor e presentes em ambientes sujos ou com vapores.

O princípio de funcionamento dos sensores ultra-sónicos está baseado na emissão de uma onda sonora de alta frequência, e na medição do tempo que leva a recepção do eco produzido quando a onda choca com um objecto capaz de reflectir o som. Eles emitem impulsos ultra-sónicos ciclicamente. Quando um objecto reflecte estes impulsos, o eco resultante é recebido e convertido num sinal eléctrico. Na Figura 72 pode-se visualizar o princípio de funcionamento do sensor ultra-sónico.
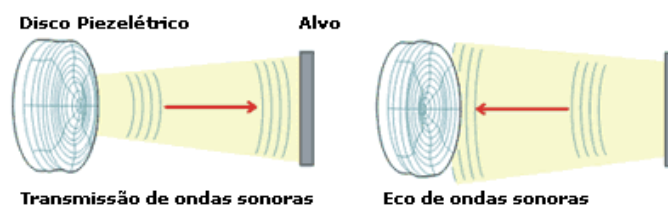
Figura 72 **Princípio de funcionamento do sensor ultra-sónico**

A detecção do eco incidente depende da sua intensidade e esta da distância entre o objecto e o sensor ultra-sónico. Os sensores ultra-sónicos funcionam medindo o tempo de propagação do eco, isto é, o intervalo de tempo medido entre o impulso sonoro emitido e o eco do mesmo. A construção do sensor faz com que o feixe ultra-sónico seja emitido em forma de um cone.

Na Figura 73 podem-se visualizar os modos de operação dos sensores ultra-sónicos, nomeadamente:

- Modo difuso;
- Modo retro-reflectivo;
- Modo emissor-reflector.
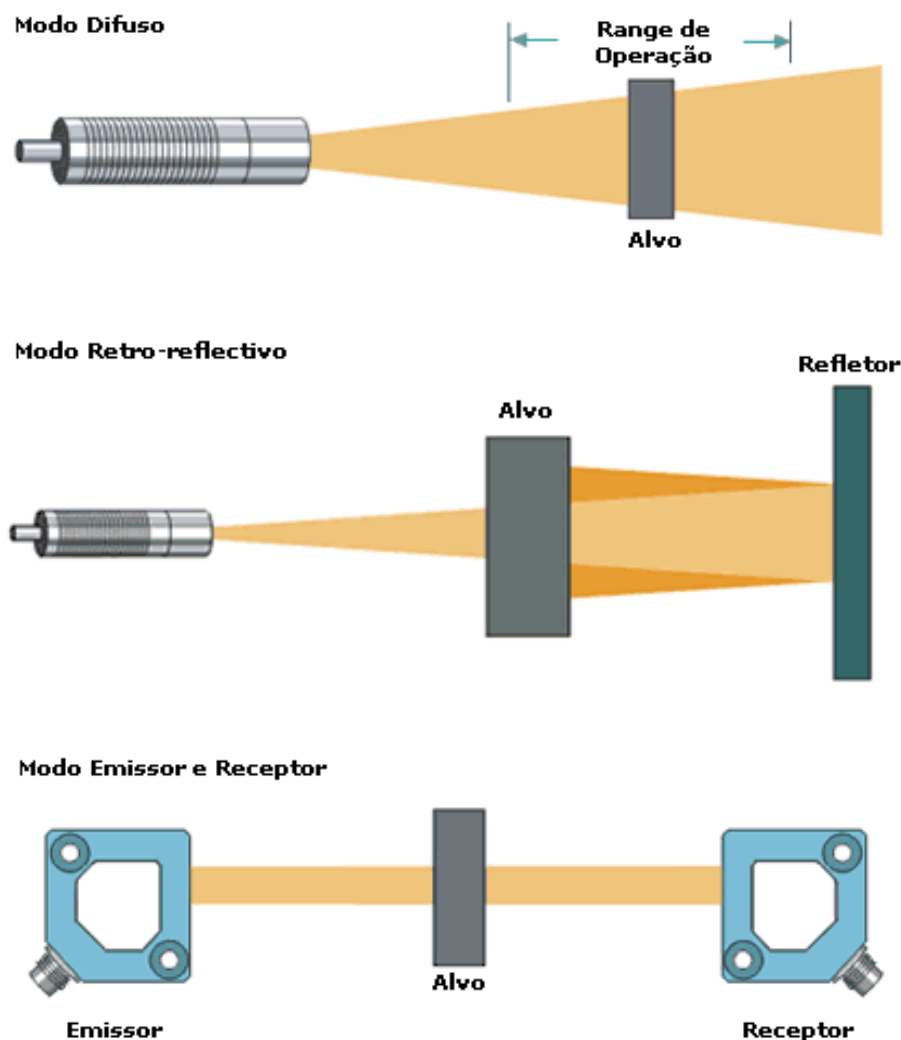
Figura 73 **Modos de operação do sensor ultra-sónico**

Na Figura 74 podem-se visualizar alguns exemplos de aplicações com sensores ultra-sónicos, tais como, monitoramento de distâncias, medição de tamanho, medição de altura, medição de diâmetro, detecção de rompimento e controlo de qualidade [18].
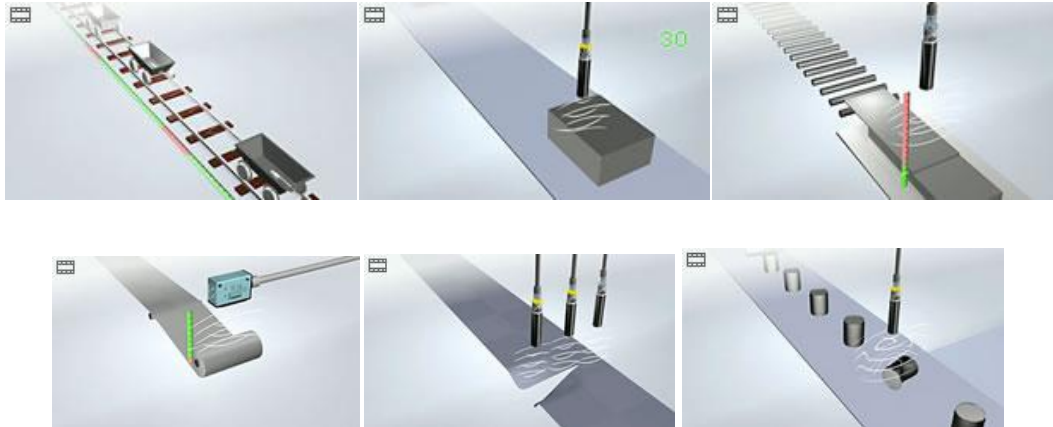
Figura 74 **Exemplos de aplicações com sensores ultra-sónicos**

Os sensores analógicos, abordados têm como princípio de funcionamento a transformação de um valor de uma determinada variável qualquer, numa variável eléctrica, possibilitando assim a integração desse valor num sistema de controlo.

Transdutor eléctrico é o nome que se dá a um elemento capaz de transformar um tipo de energia noutro tipo de energia. Por exemplo, um altifalante é um transdutor, pois é capaz de transformar as variações da energia eléctrica em energia sonora (vibrações mecânicas através do ar). Por outro lado, um microfone é também um transdutor, pois é capaz de transformar energia sonora em energia eléctrica.

O elemento principal na composição de um sensor analógico é o transdutor, acompanhado de um conjunto de circuitos electrónicos para amplificar e condicionar os sinais, que em geral são sinais eléctricos de corrente ou tensão.

Existem sensores analógicos praticamente para qualquer tipo de variável. No entanto, os mais comuns no meio industrial são:

- Sensores de distância (ou posição);
- Sensores de inclinação;
- Sensores de nível;
- Sensores de pH;
- Sensores de pressão;

- Sensores de temperatura;
- Sensores de velocidade (linear e angular).

Os sensores analógicos aplicados na automação industrial geralmente fornecem à saída uma variável eléctrica padronizada em corrente (0 a 20 mA ou 4 a 20 mA) ou tensão (0 a 10 V ou 2 a 10 V) [18].

Anexo B. CD do trabalho desenvolvido a nível de programação e a nível de interfaces HMI.